



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis Metodológico de
Zonas de Encharcamiento o
Inundación**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Geomático

P R E S E N T A

Gómez Hernández Christopher David

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Clemencia Santos Cerquera



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

Agradecimientos

Siendo un punto focal de la existencia, en donde el universo se hace consciente de sí mismo, agradezco el cumulo de probabilidades que me permiten un auto entendimiento a través de la Ingeniería y la Medicina Pre hospitalaria. Al universo, gracias.

A mi patria, que aun lastimada y saqueada, tiene las condiciones necesarias para brindar a sus hijos la bondad de una educación superior gratuita.

A mi madre que además de su rol, es mi amiga y la piedra angular de mis proyectos, gracias por estar siempre para mí y mi hermana. A mi padre por su peculiar apoyo, constante ejemplo de trabajo y esfuerzo arduo. Para ustedes dos en especial, es esta dedicatoria y agradecimiento, los amo. A mi hermana Sanch por mostrarme que los limites son mentales y lo hermoso de la libertad del ser, nunca dejemos de reunirnos.

Lidia (con el corazón en la mano y la más sincera disculpa por la tardanza, en donde sea que estés, espero disfrutes este logro conmigo) y Apolinar, Catalina y Guadalupe, para ustedes también es esta tesis, representa el amor y dedicación que han tenido para conmigo, durante todo este proceso y seguro más allá. Fueron mis primeros padres y son fuente de conocimiento y sabiduría, oasis de recuerdos que sin ustedes no tendría memoria de ellos.

Alejandro y Carlos, en estas breves líneas también, agradezco sus cuidados durante mis primeros años, todas sus atenciones, las experiencias compartidas y su amor, bienvenidas las reuniones familiares en donde pueda coincidir con ustedes.

A todos mis profesores y laboratoristas, tanto de Ciencias Básicas como de la División de Ingeniería Civil y Geomática, Piña, Lupita, Verónica, Patiño, Ángel, Erik, Adolfo, Ernesto, De Valle, Robert, Asencio y Dani, por llevar su labor como docentes y encargados de laboratorios un paso más allá, brindando su tiempo para la formación de nuevos Ingenieros. Ustedes son la pieza más importante de la universidad, alentando el esfuerzo del alumnado, siempre en miras de la excelencia académica, a ustedes mi eterna gratitud. A la Dra. Clemencia, mentora, jefa, compañera de trabajo y amiga. Su guía hizo posible esta tesis.

Amigos todos, con quienes he tenido la oportunidad de compartir recinto de estudio en nuestra alma mater: Clau, Lau, Tello, Morfín, Mau y Neto, sin ustedes la universidad y las vivencias no hubieran sido las mismas. Richard y Ara gracias por seguir mi progreso y alentarme con sus comentarios. Amigos de la preparatoria, Xavier, Mario, Dave, Bren y en especial Omar, aun con la distancia y nuestras distintas profesiones, las reuniones esporádicas con ustedes, hacen excelente ese día.

A mis coordinadores Alfonso, David y Lara, así como a mis amigos de profesión pre hospitalaria Juanquín, Jonsue, Mara, Galabeats, Maru, Bush, Karla, María, Caro, Mabel, Eron, Adal y Rodo. Una mención especial a la institución que nosotros representamos, por el acceso a cursos que favorecieron y brindaron una visión más humana a los fenómenos socios organizativos que se mencionan en esta tesis.

Por último, a mis maestros Damián y Fernando, por acogerme en su taller y ser cincel y martillo.

A todos ustedes Salud, Fuerza y Unión.

Contenido

Capítulo 1	5
Marco teórico.....	5
Introducción a la climatología	5
Situaciones climáticas causantes de inundaciones.....	6
Inundación.	12
Clasificación de las inundaciones por su origen.	12
Pluviales	12
Fluviales.....	13
Inundaciones Costeras	13
Inundaciones por falla en infraestructura hidráulica.....	14
Percepción Remota (PR).....	14
Resolución Espacial	18
Resolución Espectral	18
Resolución Radiométrica.....	19
Resolución Temporal.....	19
Sensores y Usos.....	20
Landsat.....	20
SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre)	21
RapidEye AG	22
Especificaciones Espectrales	23
Topografía	24
Modelo Digital de Elevaciones (MDE)	24
Sistemas de Información Geográfica (SIG)	25
Capítulo 2	26
Contextual	26
Ciclo Hidrológico	26
Régimen Pluvial para el Distrito Federal	27
Lluvia máxima en 24 horas para la CDMX	28
Amenaza: Lluvia	29
La Región	30

Lluvia máxima en 24 horas	32
El Sector	38
Problemática de Calle Las Torres y Calle Pirindos en el AHI Diamante	39
Periodo de Retorno	51
Capítulo 3	60
Comparativo entre AHI.....	60
Casos similares	60
Caso Especial de AHI 12 de Diciembre	71
Capítulo 4	73
Metodología.....	73
Introducción	73
Objetivos de la Metodología Topográfica	73
Objetivos de la Metodología Digital	73
Metodología Topográfica	74
Metodología Digital.....	74
Resultados.....	80
Conclusión.....	82
Bibliografía	85
Fuentes Noticiosas	86
Contenido Gráfico	88
Ecuaciones.....	88
Figuras	88
Mapas.....	90
Tablas	90

Capítulo 1

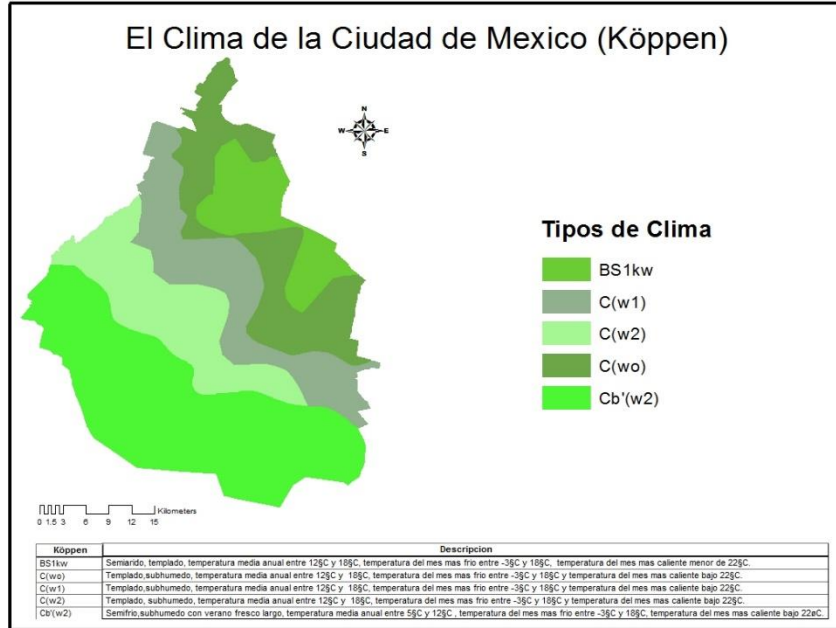
Marco teórico

Introducción a la climatología

La climatología es descrita, típicamente, como el estudio del comportamiento de la atmósfera en un intervalo de tiempo, sin embargo, esa definición no la engloba en su totalidad. La climatología es una ciencia que incorpora datos, teorías e ideas que provienen del estudio de la tierra, los océanos y la atmósfera como un sistema, además de incluir aquellos cambios influenciados por la presencia del ser humano para finalmente sumarlos en un todo, para poder explicar las propiedades de la atmósfera (Bonan, 2002).

El clima es evidentemente un factor importante, pues de éste se desprenden muchas variables para la actividad humana, desde el confort intra y extra muros hasta los costos de los alimentos, que se ven afectados por fenómenos climáticos. La conducta humana también se ve afectada por el clima dependiendo de los gustos personales o el trabajo que el individuo realice, llegando al punto de poder ser contrarios; tomemos en cuenta el siguiente ejemplo: las personas que viven en asentamientos urbanos, perciben a la lluvia o a los días nublados como días incómodos en sus actividades diarias, en el medio urbano la lluvia entorpece vialidades, causa encharcamientos o inundaciones, aunado a esta, la imprudencia humana y los accidentes que de esto, ahora llevemos este mismo ejemplo de un día lluvioso a un asentamiento rural o de campo, las personas que se desarrollan en ese medio lo percibirán de manera diferente, pues de estos días dependen sus cosechas, sus animales de corral y hasta el individuo mismo, es en este punto donde la percepción cambia pues el dar la bienvenida a dichos días (Jauregui, 2000).

El clima en la cuenca de México es tropical, atemperado por la altitud a la que se encuentra y por su ubicación céntrica dentro del territorio nacional. Usando la clasificación de Köppen (Mapa 1.1, Tabla 1) se puede definir el clima de esta región como templado en su porción centro-sur, y seco de tipo estepa en la parte norte-oriental, en esta parte la presencia de lluvia es escasa donde la lluvia anual varía entre un rango de 400 a 550 mm, mientras que la temperatura anual oscila entre los 15° y 17° (ídem).



Mapa 1. 1 Clasificación de los Climas para el DF usando la escala de Köppen Modificada

Fuente: Capas obtenidas de CONABIO, elaboración propia

Köppen	Descripción
BS1kw	Semiárido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C
C(w0)	Templado, Subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C
C(w1)	Templado, Subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C
C(w2)	Templado, Subhúmedo, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C
Cb'(w2)	Semifrío, Subhúmedo, con verano fresco y largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C

Tabla 1 Clasificación de los Climas para el DF usando la escala de Köppen Modificada

Fuente: Información obtenida de la tabla que aparece en el Mapa Temático 1

Situaciones climáticas causantes de inundaciones.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) indica que existe un periodo de 8 meses donde se sitúa la temporada húmeda, los meses con más lluvias son Junio, Julio y Agosto, pero debido a eventos cíclicos como lo es la temporada de ciclones y eventos con intervalo de incidencia más prolongados como lo es el fenómeno ENOS (El Niño Oscilación del Sur) pueden alargar los meses en los que se presente la precipitación así como su intensidad y frecuencia.

Un factor muy importante a tener en cuenta es la temporada de ciclones, éste es un evento cíclico que sucede año con año, los ciclones se forman partiendo de una base de aire cálido y húmedo, como el agua templada de los océanos en la zona tropical cumple con las características propias para la formación de ciclones, por ello es ahí donde se forman.

El aire cálido y húmedo sube desde cerca de la superficie dejando una zona de baja presión, aquella área de baja presión se llena con aire de mayor presión, este nuevo aire se torna cálido y húmedo ascendiendo de igual manera. Mientras el aire continúa subiendo y el ciclo antes mencionado sigue llevándose a cabo, en la parte superior del sistema el aire que una vez fue cálido y húmedo se enfría dando paso a la formación de nubes. Todo el sistema, que comprende el aire y las nubes, comienza a girar y a crecer incrementando de tamaño por acción del agua que se evapora de la superficie debido a la temperatura un tanto elevada de las aguas oceánicas (Figura 1.1). Cuando la velocidad del viento ha alcanzado una media de 74 Mph o 120 Kph, se puede considerar como un ciclón tropical o huracán (Goldenberg, 1997). Al tocar tierra su fuerza disminuye pues su fuente de energía es el agua cálida de los océanos, pero en ocasiones logran internarse de manera profunda en tierra causando destrozos y daños por efecto de la lluvia y los fuertes vientos que los acompañan.

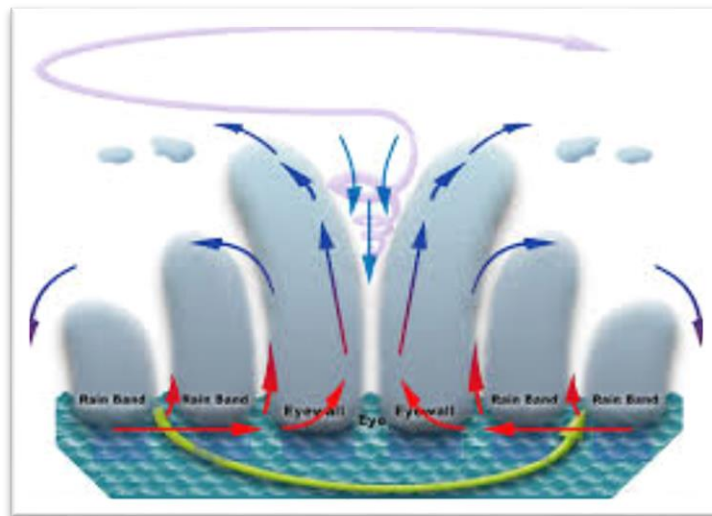


Figura 1. 1 . Representación de la formación de un ciclón tropical
Fuente: ("Cloud Structures - 'Tropical Cyclone' - Description," n.d.)

Hay organismos gubernamentales encargados de presentar un informe con la cantidad aproximada de eventos que sucederán durante la temporada de ciclones, con sus respectivas reservas pues la climatología no es exacta, de esa forma se puede mantener alerta la población y al gobierno local de las posibles eventualidades a enfrentar en un futuro cercano. Como el D.F. se encuentra en la parte central del país es casi imposible que sufra los efectos directos de un fenómeno de esta clase, pero si es recurrente que al presentarse estos eventos, los períodos de lluvia se prolonguen algunos días más de lo normal.

Este último fenómeno es cíclico y su estudio permite obtener una probabilidad de lo que podría acontecer pero, existen fenómenos con ciclos no definidos que provocan variaciones en la duración de la temporada húmeda del país, en este caso hablamos del ENOS.

El fenómeno de “El Niño”, este fenómeno se da cuando en ocasiones los vientos alisios son débiles y atenúan la corriente de Humboldt, lo que hace que lleguen a costas americanas las aguas cálidas desde Indonesia y Australia. Se presenta cuando existe un aumento anormal de 0.5° C por un periodo mayor a 3 meses consecutivos, se considera un fenómeno irregular pero de grandes repercusiones, debido a que escasea la presencia de ventarrones en dirección vertical y existe la presencia de una mayor masa de agua que generan las características ideales en cuanto a humedad y temperatura superficial, para la formación de ciclones tropicales en la zona que corresponde al Océano Pacífico.

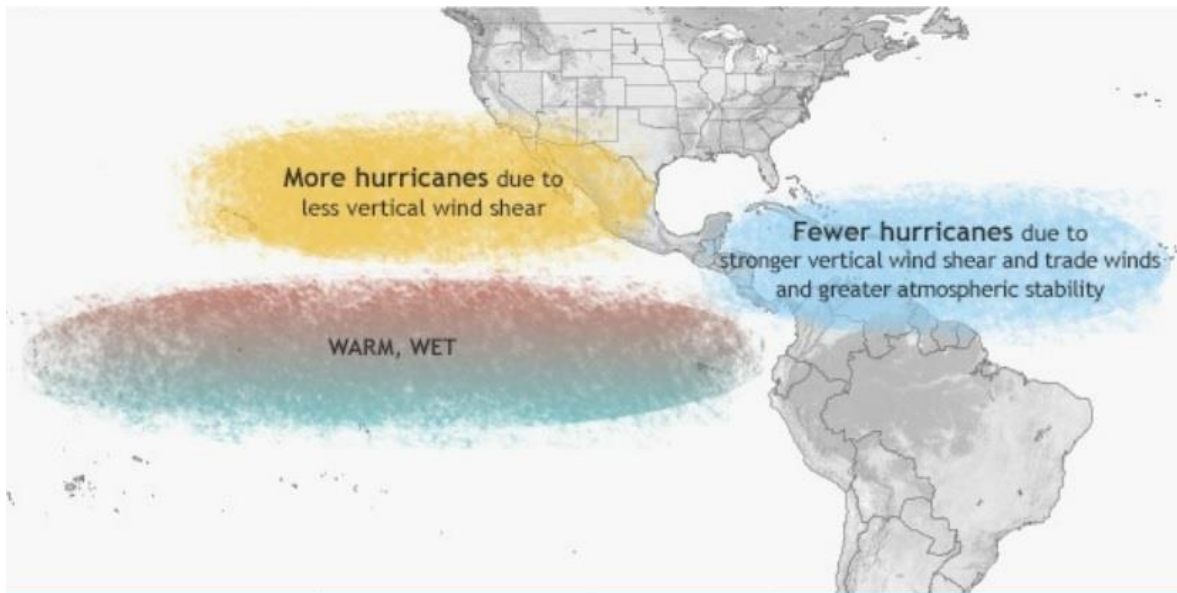


Figura 1. 2 Influencia de El Niño en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico durante la temporada de ciclones tropicales

Fuente: NOAA Climate.gov (basados en los originales de Gerry Bell)

En las imágenes de la Figura 1.3 se muestran los flujos de aguas cálidas hacia la zona del continente americano, la imagen superior representa un evento que tuvo lugar en Noviembre de 1982, donde se presentó el fenómeno denominado El Niño, las isoterms referentes a la temperatura superficial del agua oceánica muestran una temperatura de 28°C, mientras que en el fenómeno denominado La Niña ocurre todo lo contrario pues los vientos excepcionalmente intensos dirigen las aguas cálidas a las zonas oceánicas superiores dejando esa franja con aguas de menor temperatura.

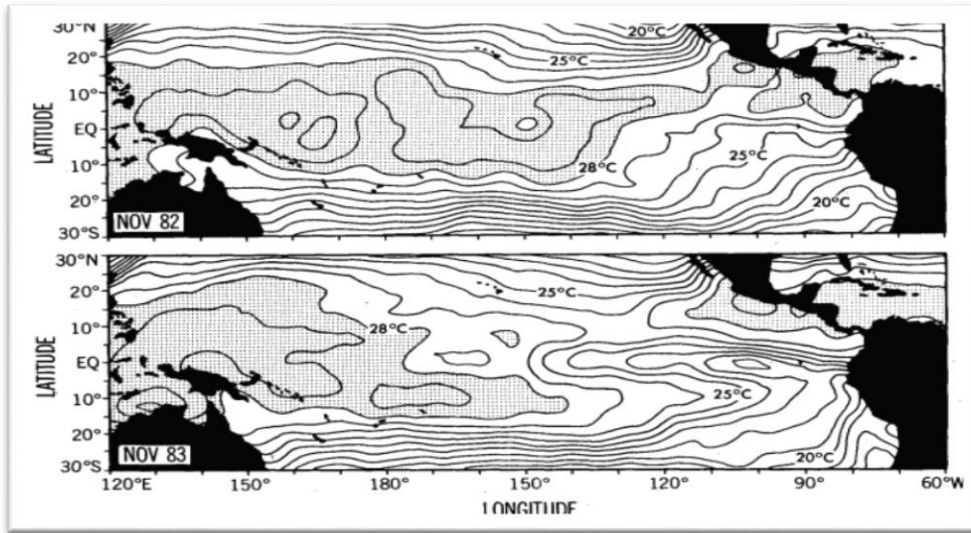


Figura 1. 3 Temperaturas superficiales en las fechas de Noviembre de los años 1982 y 1983, durante los fenómenos del Niño y La Niña respectivamente.

Fuente: ("El Niño and La Niña," 1985)

Cuando sucede el fenómeno de la Niña la distribución de los ciclones tropicales cambia e influye de forma directa en la situación climática de los países que se vean afectados por la temporada de ciclones tropicales, (Figura 1.4).

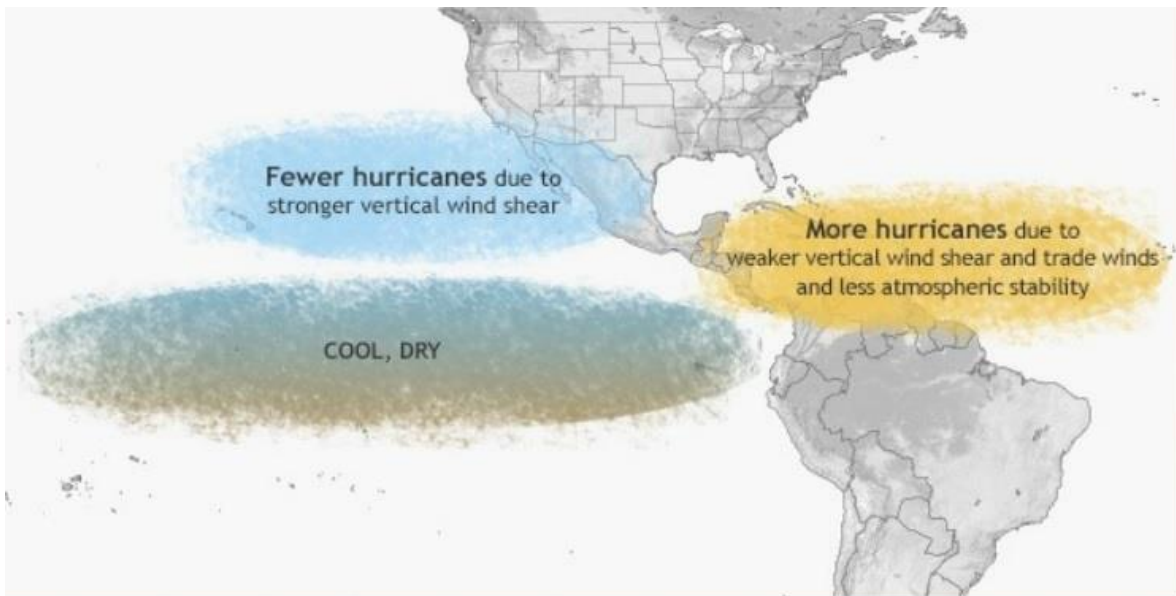


Figura 1. 4 Influencia de La Niña en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico durante la temporada de ciclones tropicales

Fuente: NOAA Climate.gov (basados en los originales de Gerry Bell)

El estudio de estos dos fenómenos ha sido extenso. Puesto que la ocurrencia de dichos fenómenos es capaz de modificar los patrones climáticos del mundo, alterando en este caso los patrones pluviales de México. Durante el invierno las lluvias aumentan al noreste del país mientras que en el Istmo de Tehuantepec los patrones pluviales ya establecidos cambian y se hacen menos frecuentes las lluvias, si este fenómeno se presentara en verano existe una gran posibilidad de que ese año se presente una baja en la cantidad de lluvia que llega a territorio nacional. Eventos como grandes sequías han azotado al país, uno de los casos es del año 1977, donde los vientos alisios fueron más intensos de lo normal, un menor número de ciclones tropicales en los mares Intra Americanos y un descenso en la humedad relativa resultaron en grandes sequías (*"Impact of El Niño on precipitation in Mexico," 2003*). El fenómeno de La Niña tiene efectos contrarios pues se ha mostrado que las condiciones climáticas regresan a la normalidad e incluso las precipitaciones de ese año estarán por arriba de la media. (Figura 1.5)

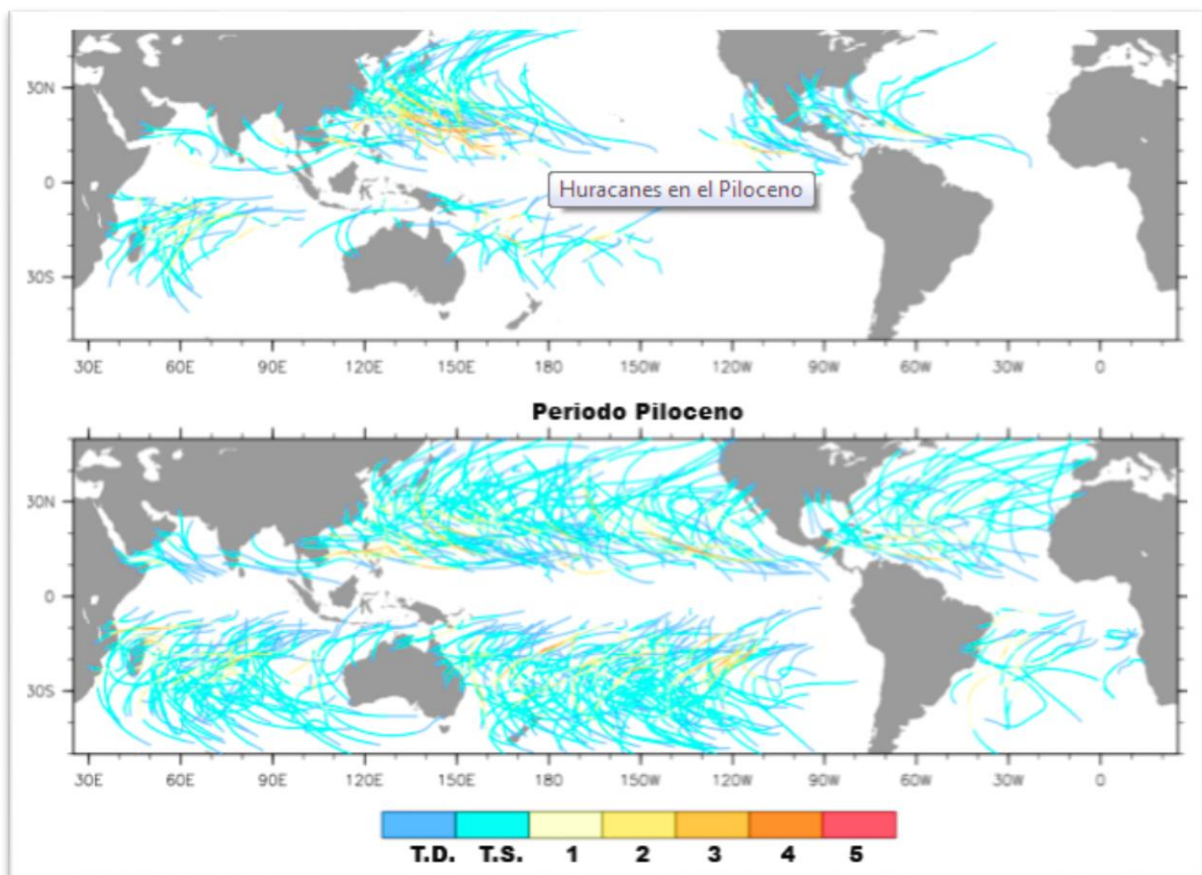


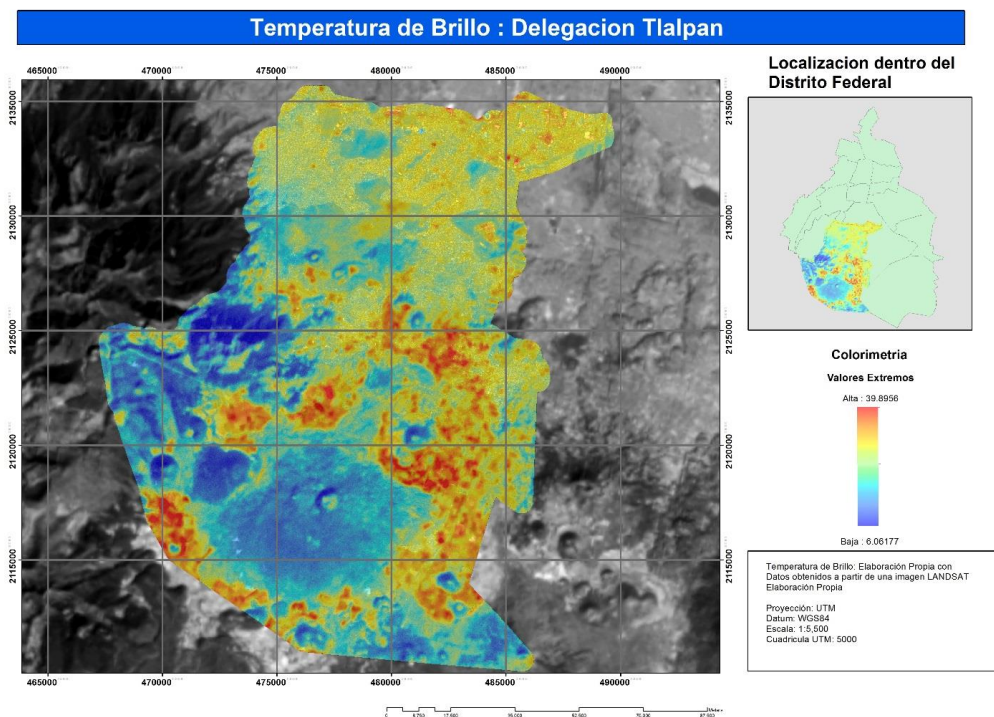
Figura 1. 5 Tropical cyclones and permanent El Niño in the early plioceno

Fuente: Tomado del artículo en prensa para la revista Nature. (Fedorov, V., Brierley, C. y Kerry, E. (2010).)

Las situaciones climáticas causantes de precipitaciones también engloban micro fenómenos, por decirlo de alguna forma, pues comparados con el ENOS y la temporada de ciclones las precipitaciones causadas por convección son fenómenos de menor extensión, pero pueden causar encharcamientos de consideración, resultando en daños a los bienes de la población que se vea afectada.

Las precipitaciones convectivas, tienen un símil con los ciclones en cuanto a su formación, requieren de calor y humedad. La formación de nubes convectivas se generan cuando el sol calienta el suelo y el aire cercano, este aire sube y se condensa por la diferencia de temperaturas, si este aire tiene la humedad suficiente se ira condensando crenado cumulonimbos que podrían precipitarse de manera enérgica de vuelta a tierra (*Van Heerwaarden, De Arellano, Moene, & Holtslag, 2009*), en el símil antes mencionado los ciclones tropicales, hacen uso de estas dos características, haciendo que el aire húmedo circundante ascienda alimentándose del calor latente de este, siendo este el motor causante de la formación de las nubes que por acción de la rotación de la tierra comienzan su giro y su movimiento (*Cruz & Galván Andres, 2016*). Si estas condiciones se cumplen, la formación de ciclones o de las nubes causantes de las lluvias convectivas puede fraguarse y dar paso su formación, esto llama la atención especialmente en ciudades de latitudes medias.

La ciudad de México presenta un incremento en la precipitación convectiva, inducida por el crecimiento de la mancha urbana y las actividades que el ser humano desempeña y a las que la ciudad queda sujeta, estas circunstancias aumentan el efecto del fenómeno conocido como Isla de Calor. El fenómeno denominado Isla de Calor se presenta cuando se da un aumento en la energía calorífica media irradiada por la ciudad incrementando los valores de la temperatura media conocida de 2°C a 3°C, pudiendo asociarla con la intensificación de las cortinas de lluvia puesto que, la frecuencia e intensificación de precipitaciones fuertes o severas (20mm/h), han aumentado durante la tarde y aquellas lluvias mayores a 1mm/h, se incrementan durante la tarde-noche en los últimos años. Estas modificaciones se observan paulatinamente a medida que la mancha urbana se expande y con ella el efecto de Isla de Calor (*Jauregui & Romales, 1996*).



Mapa 1. 2 Temperatura de brillo: Delegación Tlalpan

Fuente: Imagen LANDSAT, elaboración propia a partir de imagen de Satélite LANSAT

En este tipo de fenómenos la duración y la intensidad son de vital importancia, existe literatura como los escritos de Ernesto Jáuregui (Urban effects on convective precipitation in Mexico City) o Jochen Schanze (Flood Risk Management) que refieren una duración máxima aproximada de 20 minutos para una célula individual, pero si esta llegara a durar más se puede hablar de un cumulo de células provocado por las condiciones favorables del terreno y del clima. En cuanto a la intensidad es hasta cierto punto necesario recordar que las tormentas convectivas, se pueden relacionar con las inundaciones en zonas urbanas debido a que en este tipo de células se almacena una gran cantidad de vapor de agua en un periodo de tiempo relativamente corto, si se toma como ejemplo una célula de dimensiones aproximadas de 10 km de radio y 18 km de profundidad estamos hablando de una célula en la cual se podrían albergar aproximadamente 5.75×10^{12} g de agua.

Hasta el momento los agentes causantes de inundaciones, han sido meramente climáticos y aunque son de importancia pues son los que traen consigo la amenaza, también hay que considerar la geografía de lugar, dando lugar a los fenómenos conocidos como Lluvias Orográficas, las cuales se originan cuando el aire húmedo ve impedido su paso por barreras montañosas, teniendo que ascender y condensarse debido al cambio de temperatura presente en relación a la altura para finalmente precipitarse.

Inundación.

La definición oficial de inundación dada por la UNESCO, es el “aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce” (*OMM/UNESCO, 1974*) siendo una definición adecuada si se quisiera hablar estrictamente de la palabra, pero El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) tiene una definición más adecuada para fines de esta investigación y lo refiere como:

Aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura. (*Salas Salinas & Jimenez Espinosa, 2014a*).

Las inundaciones cuentan con distintas clasificaciones basándose en su origen o al tiempo en el que los efectos de dicho fenómeno tardan en presentarse.

Clasificación de las inundaciones por su origen.

Pluviales

Este tipo de inundación es causado por efecto de la precipitación, cuando se da la saturación del suelo y entonces el agua excedente se acumula, es posible que esta dure horas o incluso días en el lugar de la afectación. Es importante enfatizar que este tipo de inundaciones se da por la precipitación en dicha zona en específico, sin estar sujeta a la adición de agua proveniente de algún otro sitio o fenómeno. (*Salas Salinas & Jimenez Espinosa, 2014*).



Figura 1. 6 Inundación Pluvial

Fuente: <http://hidropluviales.com/mitigacion-de-inundaciones/>

Fluviales

Las inundaciones de este tipo ocurren cuando el cauce de los ríos se ve rebasado por el aumento en el gasto, haciendo que el tirante de dicho canal aumente. Si lo antes mencionado ocurre, se hablará de lo que se conoce como “desbordamiento de ríos”. A diferencia de las inundaciones pluviales esta sí está sujeta a la adición de agua por efecto de otro tipo de fenómeno, como podría ser una precipitación intensa y de duración prolongada en la cuenca tributaria. Cabe resaltar que mientras más desarrollado sea el río o ríos que lleguen a costa, la afectación será mayor pues se incrementa el área de aportación de la cuenca.



Figura 1. 7 Inundación Fluvial en Inglaterra

Fuente: http://www.local.gov.uk/flood-and-coastal-erosion-risk-management/-/journal_content/56/10180/3569695/ARTICLE

Inundaciones Costeras

Este tipo de inundaciones se presentan cuando el nivel medio del mar asciende debido a la marea, permitiendo que el mar irrumpa en zonas costeras, pudiendo cubrir extensas áreas tierra adentro. Por lo general las mareas altas se generan por los vientos de ciclones tropicales o por la disminución

de la presión atmosférica en el centro de este tipo de fenómenos. *(Salas Salinas & Jimenez Espinosa, 2014)*.

Inundaciones por falla en infraestructura hidráulica

Las inundaciones causadas por falla en estructuras hidráulicas suelen ser más catastróficas; esta relación se deriva de la experiencia adquirida con el paso de diversas fallas en estructuras diseñadas para mitigar algún riesgo hidráulico y que no han sido capaces de ello, provocando daños inconmensurables a poblaciones cercanas a estas obras. *(Salas Salinas & Jimenez Espinosa, 2014)*.

Los habitantes del pueblo San José Puente Grande en el Estado de México fueron testigos de las fallas que pueden existir en obras hidráulicas, cuando el 11 de Septiembre del 2011, treinta metros lineales de la estructura que conforma el bordo del Rio Cuautitlán sufrieron una ruptura, afectando 1200 viviendas, que tuvieron que ser evacuadas, incluyendo a los fraccionamientos Los Olivos y Los Fresnos. Aunque la ruptura del bordo fue el causante del daño a las viviendas, la saturación de los sistemas hídricos causada por las lluvias ocurridas la semana previa a esta inundación se puede considerar como una falla de trasfondo, la cual desencadena la serie de eventos que finaliza en la afectación de la comunidad mexiquense *(SLN, 2011)*. La ruptura de compuertas de presas provoca inundaciones por falla en estructuras hidráulicas, como el caso de la presa "Chichimeco" localizada en el estado de Aguascalientes. El 22 de septiembre del 2011, la ruptura de una de las compuertas de la presa Chichimeco causa el desbordamiento del arroyo "Las Escobas", provocando la movilización de personal de Protección Civil (PC) para desalojar a 50 personas cercanas a la zona y de la comunidad "El Cenizo". El estado comenzó con una revisión de sus demás recursos de infraestructura hídrica para evitar problemas similares *(Galindo, 2013)*. Estas fallas en las obras hidráulicas pueden causar pérdidas humanas en masa o daños significativos, ejemplo de esto es el percance ocurrido en valle de Vajont en Italia, donde un descuido en la capacidad y la altura del muro de la presa, aunado a factores geológicos, causo al desaparición de 5 pueblos y la muerte de aproximadamente dos mil personas.

Percepción Remota (PR)

Se define como el conjunto de tecnologías y técnicas para la obtención de información sobre las propiedades físicas de superficies, objetos y su entorno, esto sin estar en contacto directo con el objeto, haciendo uso de plataformas que mantienen un sensor a cientos o miles de metros alejado del objeto de estudio. La obtención de las características deseadas de un objeto en particular usando sensores remotos, no siempre ha sido tan fácil como el día de hoy. La adquisición de las imágenes para estudios con percepción remota, tiene en su inicio poca aplicación en México, se usaba la tecnología que se podía comprar con pocos recursos, o la que no tenía mucha resolución espacial por ser de adquisición libre.

El avance que se ha tenido en los ámbitos científicos, tecnológicos y académicos, abren camino al desarrollo de nuevos sensores, software y de nuevas técnicas, buscando obtener mejores resultados. La siguiente lista nos muestra en orden cronológico los primeros pasos de la percepción remota, hasta el año 2000.

- ❑ 1837-Primera fotografía en b/n: Daguerre
- ❑ 1858- Primera fotografía aérea: G.F. Tournachon
- ❑ 1904-Primer mapa topográfico a partir de fotografías aéreas: Fourcade
- ❑ 1909-Wilbur Wright utiliza la primera cámara aerofotográfica
- ❑ 1935-Kodak introduce las películas en color.
- ❑ 1941-Se comienza emplear film en IR (b/n)
- ❑ 1943- Se inventa el radar
- ❑ 1944- Comienza a emplearse el film en IRC
- ❑ 1955- Se desarrolla la ortofoto.
- ❑ 1957- Se envía el primer satélite al espacio (Sputnik)
- ❑ 1959 - Se inventan los exploradores multiespectrales (U. de Michigan)
- ❑ 1966 - Primeras fotos espaciales (Apollo 9)
- ❑ 1967- Se inventa el radar de abertura sintética (U. of Michigan)
- ❑ 1972 - Lanzamiento del primer Landsat.
- ❑ 1982 - Landsat-4 TM
- ❑ 1986 - Lanzamiento del SPOT (primer satélite comercial).
- ❑ 1991 - Se lanza el primer satélite de la ESA (ERS-1).
- ❑ 1999 - Se lanza el Landsat-7, el Terra y el Ikonos.
- ❑ 2000 - Satélite argentino SAC-C
- ❑ 2014 – Programa Copernico, Plataformas Sentinel

Cronología de la Percepción Remota

Fuente: Presentación Power Pont de la Universidad de Alcalá, Departamento de Geografía modificado por Christopher

Estos avances se lograron comprendiendo los procesos físicos que intervienen en la teledetección. Para que el progreso que llamamos teledetección se lleve a cabo, debe haber alguna interacción entre el objeto y el sensor, este sistema de detección, puede ser comparado con la visión humana. Para nosotros la habilidad de percibir con nuestros ojos el entorno que nos rodea, es algo muy común, sin embargo requiere de múltiples escalones en una cadena de pequeños procesos que en forma general se enlistan a continuación:

- La luz que proviene del sol es reflejada en diferentes longitudes de onda por los objetos.
- Esta luz reflejada, entra por la córnea y después por la pupila.
- El cristalino se encargara de ajustarse para observar el objeto, dependiendo de su cercanía.
- La luz excitara a las células que se encuentran en la retina (conos y bastones)
- Los conos y bastones transforman esta información en impulsos eléctricos y son enviados a través del nervio óptico.
- Los impulsos lanzados por el nervio óptico serán analizados por el cerebro
- El cerebro interpretara estos impulsos, siendo percibidos como imágenes tridimensionales

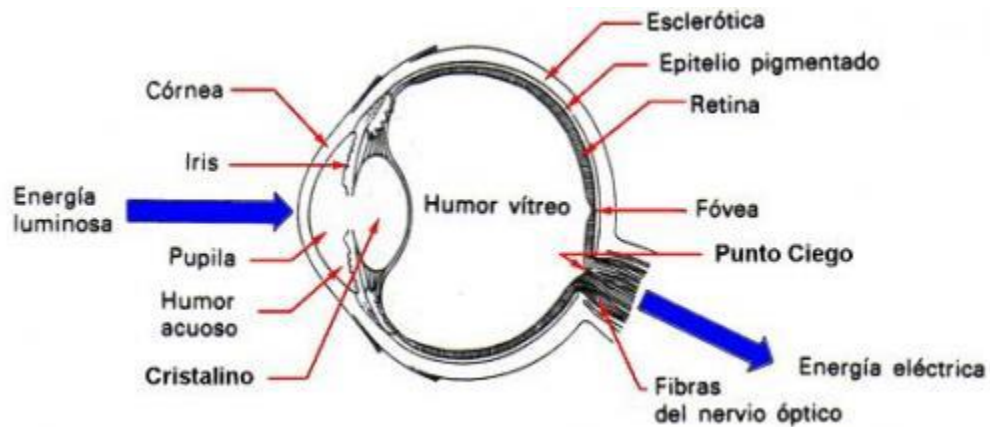


Figura 1. 8 Esquema de las partes de un ojo humano

Fuente: NeuroscienceNews.com

Los sensores remotos funcionan de manera similar:

- La radiación solar interactúa con el objeto.
- La radiación solar es reflejada por el objeto.
- El sensor recibe esta radiación reflejada.
- El prisma dentro del sensor divide la luz reflejada en los componentes o bandas deseadas.
- La computadora a bordo de la plataforma lo interpreta como una imagen bidimensional, formada de varias divisiones del espectro o bandas.

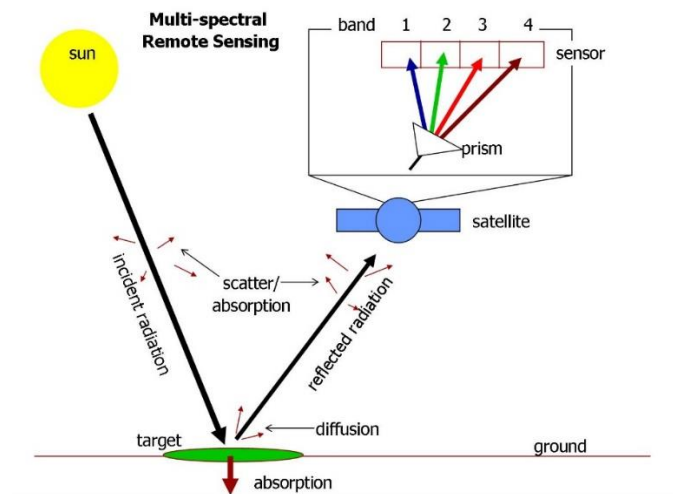


Figura 1. 9 Proceso de teledetección

Fuente: auricle.ca, Geospatial, GIS, Remote Sensing Technology News

La diferencia sustancial radica en la cantidad del espectro electromagnético que los sensores remotos pueden percibir, el ojo humano percibe lo que se conoce como espectro visible, es una porción pequeña de la gran gama que compone el espectro electromagnético.

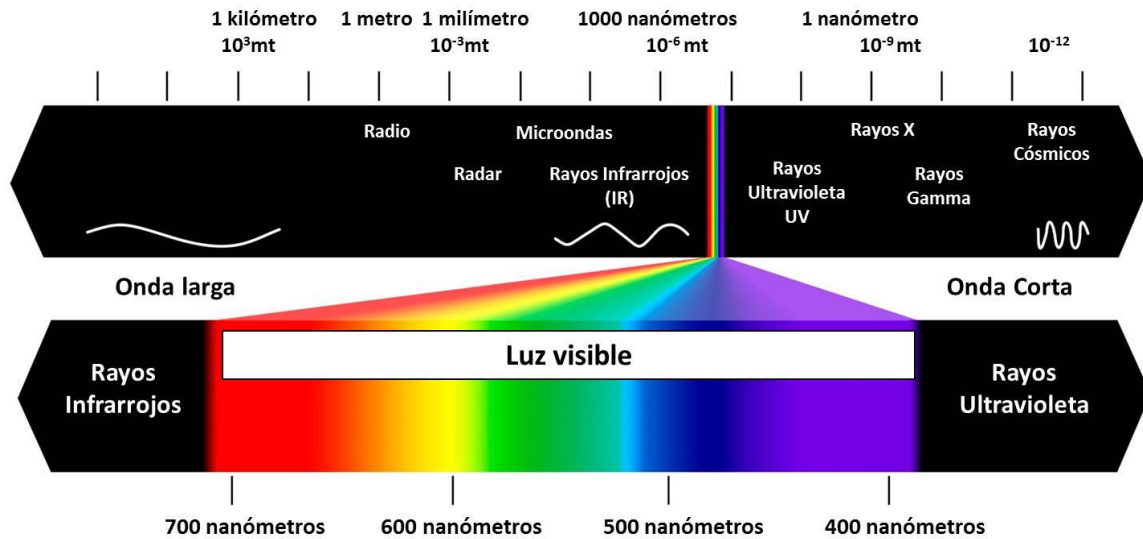


Figura 1. 10 Espectro electromagnético, resalta el espectro visible

Fuente: "What is Light?" (IST A8 Lecture)

El espectro suele dividirse en bandas para su estudio, estas bandas toman en cuenta ventanas de comportamiento similar del espectro electromagnético. Comprende desde las longitudes de onda más cortas, hasta longitudes de onda kilométricas, como las usadas en telecomunicaciones. De esta división de bandas, se destacan aquellas que son frecuentemente usadas con la tecnología actual:

- Espectro visible (0.4 – 0.7 μm): Se nombra así porque es la porción que el ojo humano percibe que coinciden con las longitudes máximas de la radiación solar.
- Infrarrojo cercano (0.7 – 1.3 μm): resulta de especial importancia por la facilidad que da para la discriminación de masas vegetales o cuerpos de agua
- Infrarrojo Medio (1.3 – 8 μm): mezcla procesos de reflexión y emisión de la superficie terrestre. En su primera porción ayuda a visualizar el contenido de humedad en la vegetación o los suelos. La segunda porción ayuda a la detección de focos de alta temperatura (volcanes activos, incendios).
- -Infrarrojo Lejano o térmico (8 – 14 μm): como su nombre lo indica incluye la porción emisiva del espectro, detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres.
- Micro ondas (por encima de 1mm): interesa por su capacidad de transparentar la cobertura de nubes.

La comprensión en el uso de estas y otras bandas, han dado como resultado la proliferación de diferentes sensores que ofrecen una variedad de productos o características específicas para cada tipo de usuario.

Los sistemas de teledetección se dividen habitualmente en dos tipos: pasivos, son sistemas que se limitan a recibir radiación solar reflejada por los objetos, y los sensores activos, estos sensores se caracterizan por tener la capacidad de emitir haces de energía para poder obtener las características de una zona deseada sin tener que esperar a que esta cumpla con las características requeridas por el usuario.

Una clasificación más específica, cataloga a los sistemas pasivos en:

- Sensores fotográficos
- Satélite (Landsat, Spot, etc.)

En cuanto a sensores activos se refiere se pueden nombrar los siguientes:

- Radar
- LiDAR

Es necesario comprender que existen limitantes para cada uno de estos sensores y dependen de las características propias de cada sistema, características que definen el ámbito de aplicación. La habilidad del sensor para registrar la información es un trabajo en conjunto de sus partes. La resolución de un sensor depende del efecto combinado de todo aquello que lo integre, la más ligera mejora en cualquier componente implica modificaciones que integran de manera óptima sus partes ampliando las posibilidades de aplicación. El concepto de resolución es el conjunto de 4 características: resolución espectral, resolución espacial, resolución temporal y resolución radiométrica.

Resolución Espacial

Este concepto se refiere al objeto más pequeño que pueda ser distinguido sobre una imagen. En los sensores modernos, esta resolución depende de la altura orbital, velocidad de exploración y número de detectores. La resolución espacial está estrechamente relacionada con la escala del trabajo y con la fiabilidad obtenida de la interpretación. En resumen mientras más pequeño el pixel, es menor la posibilidad de que se formen figuras por acción de dos o más cubiertas fronterizas, mientras más grande el pixel, hay mayor probabilidad de que se dificulte la interpretación de los objetos que aparecen en la imagen, afectando de manera negativa su identificación.

Resolución Espectral

Indica el número y amplitud de las bandas espectrales que puede adquirir el sensor. Se busca poder observar el comportamiento de los objetos cuando se someten a diferentes bandas del espectro electromagnético. Mientras mayor número de bandas pueda obtener el sensor, mayor número de características singulares de cada cobertura se podrán definir.

Entre los sensores capaces de recoger diferentes bandas, el radar es el de menor capacidad, mientras que la fotografía e imágenes de satélite, ofrecen diferentes bandas del espectro electromagnético generando la posibilidad de obtener productos digitales a color con información en regiones que nuestro sensor (el ojo) no alcanza a captar, como el ultravioleta, infrarrojo, etc. .

La elección de la anchura de las bandas, el número de bandas, está condicionado por el diseño del sistema sensor. Si se quisiera hacer un sensor que fuera capaz de obtener información del clima, solo se necesita colocar en una plataforma algún sensor que obtenga el espectro visible, pero si se colocaran sensores capaces de obtener el IRM (infrarrojo medio) o en el IRT (infrarrojo térmico) se podría obtener mayor y mejor información, haciendo que el diseño cambie por completo. La decisión de las bandas a emplear, se define a partir de las ventanas atmosféricas, y su aplicación está en función de las firmas espectrales de los diferentes objetos de estudio.

Resolución Radiométrica.

Esta se refiere a lo sensible que sean los receptores del sensor, específicamente a su capacidad para detectar variaciones en la radiancia espectral que a él llega. El número de valores que se muestran en ese rango, suelen estar relacionados con la resolución radiométrica del sensor. La mayoría de los sensores muestran un rango que va de 0 a 255 valores (8 bits), algunos como los meteorológicos por ejemplo el NOAA-AVHRR, trabaja con 1024 niveles digitales (10 bits) o AVIRIS con 65536 niveles digitales, actualmente el diseño con 16 bits se está aplicando en los nuevos sensores; en éste sentido hay que tener cuidado pues no todos los software de procesamiento digital de imágenes los pueden leer.

Como se ha comentado antes a mayor precisión radiométrica del sensor, mejor será la interpretación de la imagen. El nivel adecuado de niveles digitales depende del método que siga la interpretación, si la interpretación es visual, habrá que considerar las limitaciones del ojo humano pues este solo percibe 2.3 millones de tonalidades de color. (Kleiner, 2004).

Resolución Temporal

La resolución temporal hace referencia a la periodicidad con la que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de superficie terrestre. La periodicidad está en función de las características de la órbita del sensor y principalmente del ángulo de observación y de abertura.

Existen sensores con una tasa muy alta de resolución temporal, como son los satélites geo – estacionarios (Meteo-Sat), los cuales proporcionan una imagen cada 30 minutos, al contrario de otros sensores como SPOT o Landsat tienen 26 y 16 días de retraso entre toma y toma.

La relación entre las cuatro manifestaciones de resolución en los sensores es estrecha, si la resolución espacial aumenta, se presenta en su diseño una disminución en las otras, básicamente la temporal depende de la familia de satélites, entre más satélites estén en el espacio, más corto es la temporalidad de toma de imágenes, en los dedicados a recursos naturales, es un solo satélite en órbita, por lo tanto tiene una gran diferencia con los de estudios meteorológicos, pero éstos últimos presentan en su diseño píxeles de mayor tamaño, lo que significa una menor la resolución espacial. El mayor problema es la transmisión de las imágenes a tierra, el aumento en cualquiera de estas resoluciones, significa un aumento en el tráfico de datos entre el sensor y la estación en tierra.

Por consiguiente, al diseñar un nuevo sensor, son muy conciso en el tipo de resolución al que se le da prioridad. Si se quisiera diseñar un sensor que detecte fenómenos muy específicos y esporádicos habrá que realzar su resolución temporal, perdiendo resolución espacial, lo cual indica que están diseñados de forma específica para un grupo de aplicaciones.

En la medida que el desarrollo tecnológico avanza su aplicación en los sensores remotos es notoria, tanto en el aumento de la resolución espacial como espectral, dando mayores posibilidades de análisis digital. En la tabla 2 se precisa la diferencia básica entre tratamiento digital y visual, reflejando la existencia de factores positivos y negativos entre ellos

Tratamiento Visual	Tratamiento Digital
Poca Inversión Inicial	Inversión Inicial Elevada
Costos Lineales	A mayor superficie menor costo
Requiere conversión a digital	Se trabaja con la información original
No precisa personal especializado	Precisa personal especializado
Buena precisión en clases heterogéneas	Baja precisión en clases heterogéneas
Restitución compleja	Corrección geométrica sencilla y rápida
Complejo de Inventariar	Inventario fácil e inmediato
Requiere de digitalización, para usarse con SIG's	Conexión directa con un SIG

Tabla 2 Diferencias entre el tratamiento visual y digital

Fuente:(Chuvienco, 2008)

Sensores y Usos

Los nuevos diseños en sensores producto del desarrollo tecnológico y la necesidad creciente de los usuarios, han convertido el uso de las diferentes plataformas en una comercialización que va en crecimiento pero a su vez en la generación de chatarra espacial, ya que los sensores dispuestos en las diferentes plataformas que terminan su vida útil no se recogen.

La competencia entre los diferentes fabricantes radica en la necesidad de obtener información específica, lo que impulsa a las empresas a diseñar diferentes sensores, más rápidos o con mayor resolución tanto espacial (píxeles más detallados) como espectral (generación de más bandas del espectro electromagnético), lo que interviene también en los tiempos de toma de las imágenes. Por lo tanto existen diferentes sensores, desde los más conocidos como SPOT y Landsat, así como los que se emplean en el presente estudio Pleiades, LiDAR y sensores que se abren camino innovando como Worldview3 y los diferentes drones., cuya limitante ahora se centra básicamente en el hardware que se necesita para procesar tanta información. A continuación se hace una pequeña reseña de las plataformas y los sensores en ellas más conocidos y los que aquí se ocupan.

Landsat

El programa fue creado en Estados Unidos, William Pecora propuso la idea de un sensor remoto capaz de observar la superficie terrestre. El satélite Landsat 1 se enfrentó a varios contratiempos, pues de alguna manera vulneraba las áreas ocupadas por bases militares, finalmente en 1970 se dio luz verde para construir el satélite, dos años después el sensor fue puesto en órbita, comenzando una nueva era en la percepción remota.

La familia de sensores ha ido muy lejos y cada nuevo sensor ha propuesto nueva tecnología, académicos, ambientalistas, gerentes agrícolas, agricultores y geomáticos hacen uso de su tecnología, siendo incluyente y fácil de usar. Más del 91% de quienes usan las imágenes, lo ocupan para solucionar problemas de la vida real y otro 57% lo usan como una base en la toma de decisiones.

Las imágenes contienen diferentes bandas, cada una de ellas con datos colectados en las diferentes porciones del espectro electromagnético que este sensor puede captar. El registro corresponde al comportamiento de los diferentes objetos de acuerdo a su propia respuesta espectral. Entre las muchas aplicaciones que se le puede dar a la información, las que más resaltan son las relacionadas con capas vegetales, el estado del suelo y la vegetación, y el impacto de un desastre natural sobre

un área en específica, también con su banda térmica se detectan incendios, lo que permite prevenir o combatir .

La familia Landsat, lanzó en febrero del 2013 un paquete de dos instrumentos científicos, OLI y TIRS, estos sensores proveerán cobertura estacional de la superficie de tierra global, con una resolución espacial de 30 m (visible, IRC, SWIR) y 15 m (pancromático).

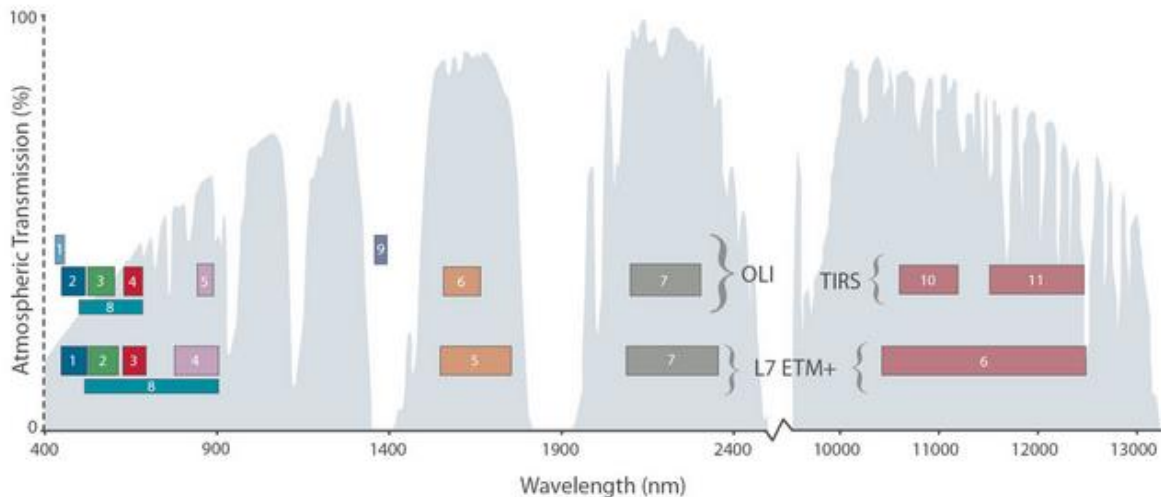


Figura 1. 11 División de las bandas que puede captar Landsat 8.

Fuente: ("About « Landsat Science,» n.d.)

Actualmente se adquieren 550 escenas por día y esto aumenta la probabilidad de obtener tomas que presenten baja nubosidad. Es uno de los más usados y de los pocos que cuentan con un acervo de imágenes amplio.

SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre)

Este programa comienza en 1978 consta de un cúmulo de sensores ópticos, de los que su primordial misión es obtener imágenes de la superficie terrestre, imágenes que se puedan utilizar para la agricultura, geología, cartografía, silvicultura, planeación urbana y recursos hidrológicos. Los recursos de SPOT son manejados por la Agencia Espacial Francesa, la cual tiene antenas receptoras y diferentes distribuidores en todo el mundo (*"SPOT Historical | the Long Term Archive," n.d.*).

Los satélites SPOT 1 y 2 viajan en un línea, siendo un arreglo compuesto de varios satélites, los cuales llevan consigo un HRV (Alta Resolución del espectro visible), mientras que SPOT 4 lleva dos sensores HRIVR (alta resolución del espectro Infra Rojo). La posición de los prismas o espejos que conforman el sistema del sensor pueden ser manipulados desde tierra, para poder observar algún área de interés, aunque no necesariamente de manera vertical.

Siguiendo los pasos de la familia Landsat, SPOT ha lanzado en 2012, una constelación de satélites, para poder mantener la adquisición de imágenes de alta resolución que podrá operar de manera continua hasta el año 2024. La decisión de continuar con la construcción de los sensores SPOT se da en el año 2009, para poder cubrir la necesidad que tiene el gobierno de este tipo de datos (*"SPOT 5 | Satellites | Geoimage," n.d.*).

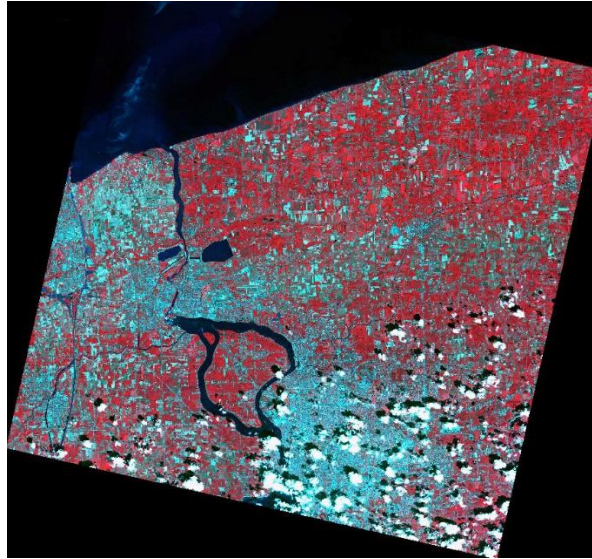


Figura 1. 12 Imagen obtenida por el sensor SPOT, Niagara, Julio 22, 2007

Fuente: Alberta Terrestrial Imaging Centre

RapidEye AG

El concepto de RapidEye fue diseñado en 1996 por Kyser-Threde GmbH, basado en una idea que fue remitida en una convocatoria realizada por la Agencia Aeroespacial Alemana, que planteó la necesidad de comercializar la teledetección Alemana.

Se estableció como una empresa independiente en Múnich con la financiación de inversionistas privados y una aseguradora agraria. Para el 2004 se obtuvo mayor financiamiento de la Unión Europea, Brandeburgo, un consorcio bancario conformado por el Commerzbank, EDC (Export Development Canada), es así como se le adjudica el papel de contratista principal a Mac Donald Dettwiler. Para el año 2009 después de pasar los ensayos de calibración o fase MPAR, los satélites por fin fueron comercialmente operativos.

Los usos o aplicaciones principales de esta constelación son la agricultura, silvicultura, seguridad y emergencias, medio ambiente, soluciones espaciales, energía e infraestructura.

Agricultura: con su alta resolución temporal, la constelación RapidEye, es capaz de monitorear cultivos individuales, regionales o globales, ayudando a los agricultores para poder llevar a cabo agricultura de precisión

Silvicultura: Cada vez se ocupa más por gobiernos, el comercio y la industria para evaluar el estado de los bosques, ver la sustentabilidad ambiental y económica de las operaciones forestales y controlar la tala ilegal.

Seguridad y Emergencias: La respuesta inmediata a la obtención de imágenes satelitales previas y posteriores a desastres naturales o desastre provocados por el hombre (terrorismo, guerras, etc.). Las autoridades competentes a la gestión en crisis pueden evaluar la situación y ayudar a coordinar mejor los equipos de rescate.



Figura 1. 13 Izquierda, muestra la zona de El Márquez previo a las inundaciones



Figura 1. 14 Derecha, muestra la misma zona pero ya inundada.

Fuente: RapidEye Archive Tile ID: 1446811, Colectada Mayo 03, 2013 (izquierda) y Septiembre 18, 2013 (derecha)

Como se mencionó en párrafos anteriores la constelación RapidEye está formada por 5 satélites iguales, cada satélite lleva un sensor Jena-Spaceborn Scanner (JSS) 56, sensores radiométricos instantáneos y Jena-Optronik multispectral. El avance o el plus de esta empresa es su banda Red-Edge particularmente sensible a los cambios de clorofila, esta banda puede ayudar al monitoreo de sanidad vegetal, en la identificación de diferentes especies vegetales y cultivos (“eoPortal - Earth Observation Portal,” n.d.).

Especificaciones Espectrales

- 440 – 510 nm (azul)
- 520 – 590 nm (verde)
- 630 – 685 nm (rojo)
- 690 – 730 nm (Red-Edge)
- 760 – 850 nm (IR cercano)

Cada sensor, se fabrica con respecto a las especificaciones del mercado al que va dirigido, por eso existe una inmensa gama de sensores y cada uno presenta cualidades diferentes a los demás, en ellos las resoluciones detalladas (espaciales, espectrales, radiométricas y temporales) definen el área de aplicación que capte.

El rápido avance tecnológico que se presenta en La teledetección o Percepción Remota, actualmente ofrece imágenes con detalle espacial de 30 centímetros, o imágenes hiperespectrales que se han convertido en una herramienta útil y en estos días indispensable en la Ingeniería Geomática, debido a sus múltiples beneficios al momento de abaratar costos o manejar grandes volúmenes de información, además de arriesgar menos a los ingenieros, pues ya no es tan necesario mandar brigadas de personal a monitorear desastre, zonas de riesgo tanto natural como antropogénico (zonas de violencia por ejemplo).

Topografía

La topografía es una de las ramas de Ciencias de la Tierra más antiguas, se dedica al estudio de la forma y la configuración de la capa sólida y superficial del planeta por pequeñas secciones; hay registros históricos como las primeras cartas geográficas desde el año 540 a.C. situándolas en el periodo de personajes como Tales de Mileto, Anaximandro y Erastogenes. Las técnicas usadas para las mediciones y para el dibujo de las cartas o mapas han ido evolucionando y mejorándose a lo largo del tiempo, adaptándose y tomando en cuenta las nuevas tecnologías que la óptica y la computación brindan, se han desarrollado equipos que acortan el tiempo de obtención de las características deseadas de un espacio específico y los nuevos softwares que permiten el traslado de la información del hardware a la estación de computo, donde se transforma en un mapa temático, una carta topográfica, un plano arquitectónico o modelo impreso de la hipsometría de un lugar (“- *What is topography?*,” n.d.).

Los avances descritos en los párrafos anteriores, dan a conocer un gran impulso en este campo, sin embargo se siguen teniendo algunas limitantes, por una “simplificación” por así llamarlo, los techos de las cavernas o protuberancias como las estalactitas no son tomadas en cuenta, otra restricción se da cuando se utiliza al suelo como frontera entre dos medios que serían la tierra y el aire, y por lo mismo la superficie siempre será orientable, en contraste con algunas superficies que tienen un solo lado, como la tira de Möbius, de la cual no se pueden hacer distinciones entre colinas y depresiones (Zhou, Lees, & Tang, 2008) .

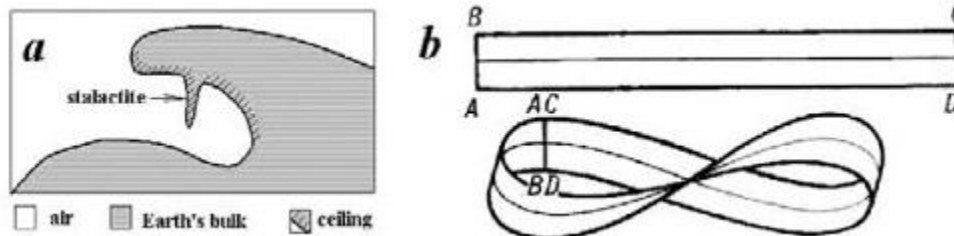


Figura 1. 15 Muestra la limitante de los techos de las cavernas b. Tira de Möbius como ejemplo de una superficie con un solo lado.

Fuente: (Zhou, 2008)

Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

Con los avances tecnológicos y de investigación en los campos de la Computación, Topografía y Percepción Remota se han podido desarrollar sistemas y maquinaria especializada que conjugan los campos antes mencionados para dar resultados como lo son los modelos digitales de elevaciones (MDE). Este producto final es de alta utilidad pues reduce los tiempos de obtención de la hipsometría de las zonas que se necesitan o se quieren estudiar. Los MDE son representaciones topográficas discretas y pueden ser divididos en dos grupos MDE Irregulares y MDE Regulares.

Los MDE Irregulares usaran menos espacio entre punto y punto, en áreas con una pendiente pronunciada y mayor espacio entre punto y punto para áreas donde la pendiente sea mayor, esto para que con el mismo número de puntos puedan describir de manera atinada fallas geológicas y cambios bruscos en las elevaciones de manera más certera que un enmallado. Si se buscara transformar e un MDE Irregular a uno Regular el proceso que se sigue es una triangulación entre puntos siguiendo el criterio de Delauney (este criterio busca hacer los triángulos con puntos que

tengan ángulos iguales o parecidos entre ellos) que es un complemento para el teselado de Voroni (Peckham & Jordan, 2007a).

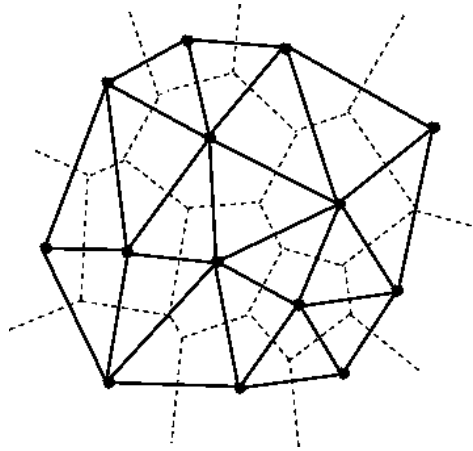


Figura 1. 16 Teselado de Voroni con Triangulación por criterio de Delauney.

Fuente: (Peckham & Jordan, 2007b).

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica, es una integración de hardware, software e información geográficamente referenciada. Esta integración crea modelos que asocian la información a atributos con aspectos específicos de espacios físicos. Esto permite a los usuarios manipular la información para poder calcular estadísticas espacialmente, resumiendo datos obtenidos y poder señalar de manera más precisa problemas geográficos, así como otras eventualidades. Además de los usos antes mencionados, esta tecnología también puede ser usada para representar de manera visual información geográfica, y hasta modelar fenómenos geográficos como los patrones de tráfico en una ciudad y el impacto que tiene sobre su afluencia, epidemias o inundaciones. El resultado por lo general es presentado en forma de Mapas Temáticos.

Aunque muchas personas aún no están familiarizadas los SIG juegan un rol importante para la comprensión de la influencia que tiene la geografía en la vida diaria.

Capítulo 2

Contextual

Ciclo Hidrológico

Es uno de los ciclos naturales más importantes para humanos como para la naturaleza misma, pues uno de los productos que se desprenden de este ciclo es la precipitación que lleva agua a diferentes zonas donde es aprovechada, de ella dependen ecosistemas tan secos como el desierto o húmedos como las selvas, así como actividades humanas agropecuarias y en tiempos recientes la captación en presas para generar energía eléctrica o abastecer ciudades de este vital líquido.

El agua está en constante movimiento, pasando de la tierra a la atmósfera por medio de la evaporación y de la atmósfera a la tierra por efecto de la precipitación, siendo este un patrón repetido o un ciclo (Walker, 1992). Este ciclo es una transferencia de agua, que se mide por volúmenes o masa, es también un intercambio de energía calorífica entre la superficie terrestre y la atmósfera. Se requiere de energía para poder cambiar al agua a cualquiera de sus tres estados, el cambio de fase entre estos, absorbe o libera una cantidad considerable de energía.

La evaporación ocurre cuando aire no saturado tiene contacto con la humedad de la superficie, así provee a la atmósfera la humedad que posteriormente caerá en forma de lluvia. Este proceso físico también consumirá una cantidad enorme del calor, que de otra forma, se quedaría en la superficie. Una vez en la atmósfera, el agua se condensa, forma nubes y si las condiciones son óptimas el agua caerá en forma de lluvia. Mientras el vapor de agua en la atmósfera se condensa cambia de vapor a líquido y el calor que se había captado, es liberado, este calor es el combustible o energía que ayuda a la circulación atmosférica y alimenta las tormentas. La descarga de agua fresca de los ríos a los océanos ayuda a prevenir que el agua de estos se haga más salada, además de influir en el movimiento de las corrientes marinas que transportan masas de agua caliente y agua fría. Además del agua fría que llevan los ríos, este proceso también ayuda a llevar nutrientes a los océanos y ayudar al ciclo del carbón que se lleva entre la atmósfera, el suelo y el agua.

Se calcula que en la tierra existen aproximadamente 1 384 millones de km^3 de agua, el 97% de esta se almacena en los Océanos, un 2% está congelada en los casquetes polares y glaciares. Solo un 0.6% del agua esta almacenada en forma líquida dentro de los continentes. Ríos, lagos, pantanos y humedales contienen alrededor de 225 000 km^3 del agua en la superficie, mientras que otros una cantidad un poco superior a los 8 millones de km^3 de agua esta almacenada de forma subterránea, y componen lo que conocemos como acuíferos profundos. La atmósfera es donde menor concentración de agua hay, con un volumen aproximado de 13 000 km^3 de agua o 25mm de precipitación suficiente, para cubrir la parte continental del planeta solamente.

Anualmente se calcula que 496 000 km^3 de agua abandonan la atmósfera en forma de precipitación. Anualmente la misma cantidad de agua regresa a la atmósfera por la acción de la evaporación así que la cantidad de agua se mantiene en el tiempo. Aproximadamente 385 000 km^3 de agua se precipita a los océanos, otros 424 700 km^3 de agua regresan a la atmósfera por efecto de la evaporación, haciendo las matemáticas nos queda un aproximado de 39 700 km^3 libre. La precipitación que se da dentro de los continentes excede la evaporación. Cerca de 111 100 km^3 del agua cae como precipitación continente dentro, de la cual 71 400 km^3 regresa a la atmósfera por

medio de la evaporación y el restante corre hacia el océano formando ríos o pequeños torrentes que completan el balance del agua en los océanos que se perdió por acción de la evaporación (Rohli, Rohli, & Vega, 2013a).

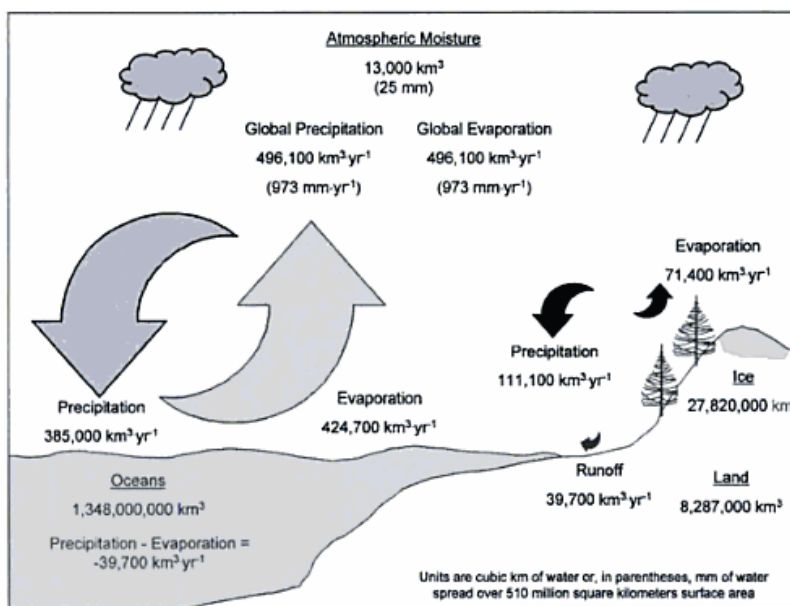


Figura 2. 1 Ciclo Hidrológico

Fuente: de (Rohli, Rohli, & Vega, 2013b)

Régimen Pluvial para el Distrito Federal

A pesar de la tala inmoderada de los bosques ocurrida en los años anteriores y hasta el presente, la estación húmeda se ha mantenido invariable en el tiempo, aunque localmente la humedad ha decrecido, mientras que en el poniente de la capital del país, los aguaceros intensos son más frecuentes que en años pasados. Esta frecuencia de los aguaceros (lluvias fuertes de hasta 30 mm) antes mencionados ha incrementado de entre 10 a 15 eventos por década en el periodo que comprende el siglo XX, donde estos incidentes van han aumentado hasta 25 por década.

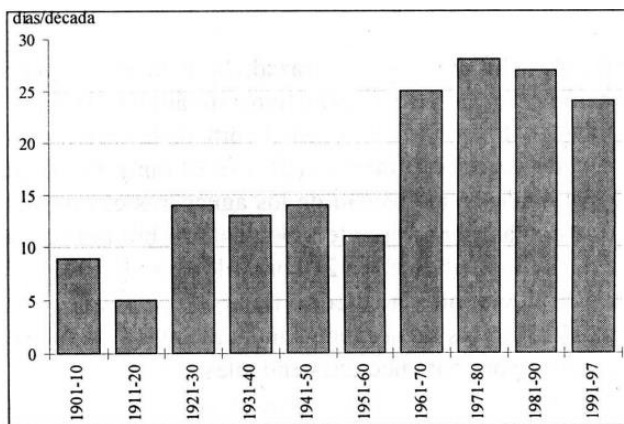
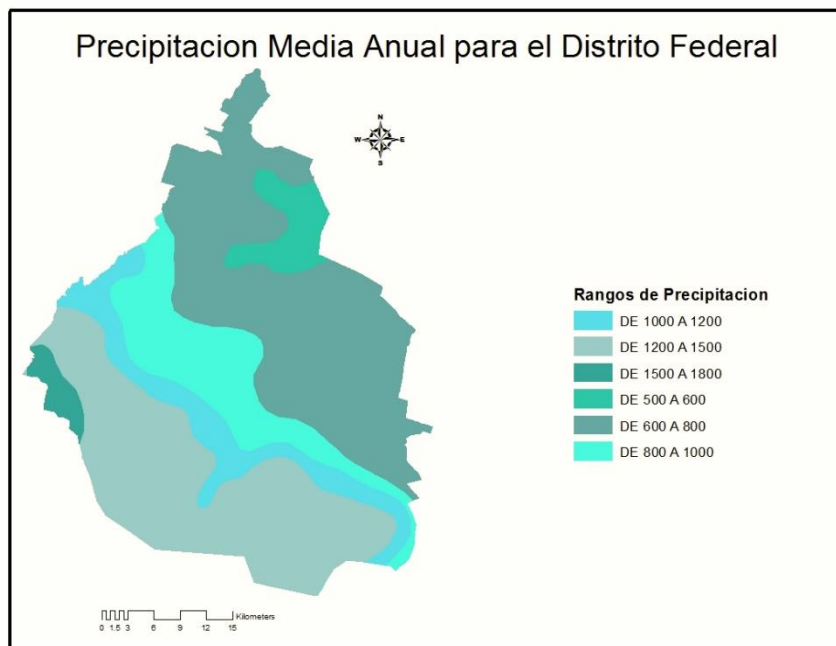


Figura 2. 2 Frecuencia de precipitación máxima en 24 horas mayor a 30 mm por periodos de 10 años para cada barra.

Fuente: El Clima de la Ciudad de México (Jauregui, 2000)

El distrito federal tiene un rango variable de precipitación media anual (Mapa 2.1), que va de los 500 hasta los 1800 mm, siendo distinto para todas sus delegaciones.



Mapa 2. 1 Precipitación media anual para el DF usando la escala de Köppen

Fuente: Capas obtenidas de CONABIO, elaboración propia

Lluvia máxima en 24 horas para la CDMX

Destacan zonas rurales al oriente y poniente de la ciudad donde lluvias máximas en un periodo de 24 horas han alcanzado los 100 mm. Estas tormentas de lluvia intensa en periodos cortos, son las que ocasionan el mayor número de daños por las subsecuentes inundaciones en calles mal planeadas, o donde los drenajes no fueron diseñados para soportar la cantidad de agua que quiere circular por esas tuberías, en un tiempo tan corto y también este tipo de lluvias son causante de los deslaves que se originan en laderas inestables donde pueden existir Asentamientos Humanos Irregulares.

La forma de expansión irregular bajo el esquema de Asentamientos Humanos Irregulares (AHI) sufren en mayor medida la mala planeación de la ciudad, no se hacen estudios de las zonas y no se planean ni las calles, ni las viviendas, dichas carencias en planeación comprometen a las personas que viven en los AHI.

Durante los recorridos que se han realizado como parte de este proyecto, se han encontrado muchas similitudes entre las diferentes calles que son susceptibles a inundarse y que presentan una vulnerabilidad aumentada por la topografía de sus calles y la ubicación de las casas.

En el párrafo anterior, se hace referencia al término vulnerabilidad. Esta palabra se ha empelado de manera muy ambigua, ignorando aquellos factores que lo componen, usándolo para describir lo susceptible que puede ser un individuo o una comunidad a sufrir algún percance, derivado de la poca preparación, para afrontar dicho evento. Las diferentes perspectivas acerca del concepto han

llevado a que los científicos y los ingenieros tienden a esgrimirla de manera descriptiva mientras que los científicos encargados de las áreas sociales la usan para explicar el contexto de modelos específicos (O'Brien et al., 2004a; Gow, 2005).

Citando a Timmermann (1981), la vulnerabilidad es un término de significado tan amplio que es casi inútil al momento de usarlo para describir cualquier situación presente, exceptuando situaciones donde se quieren describir aquellas áreas que sean de gran interés, para fines de este estudio la vulnerabilidad esta dictada por 4 factores (Tapsell, Penning-Rowsell, Tunstall, & Wilson, 2002) : I) Amenaza, II) La región, III) El sector, IV) Periodo de retorno.

Amenaza: Lluvia

La lluvia

Para este caso de estudio, el efecto de la amenaza a la que se enfrenta algunas calles en la delegación Tlalpan, son las inundaciones o encharcamientos.

Las inundaciones o encharcamientos son el resultado de la adición de diversos factores que son provocados por la lluvia. Algunos como la tala inmoderada e ilegal en algunos países, causa que los suelos pierdan esta cobertura vegetal, que funciona como método de absorción y fijación de los suelos (Sánchez, 2005), la mala planeación de algunas ciudades da cabida a la construcción de vialidades con una mala traza topográfica, generando condiciones propicias para encharcamiento y actualmente el cambio climático de origen antropogénico que ha afectado la duración e intensidad de las temporadas de lluvia, esta suma afecta vialidades y bienes de las personas que por decisión propia o por ignorancia de las situaciones locales, deciden instalarse en ese lugar.

La Organización de Estados Americanos define como inundación:

Al resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la de carga de los ríos o riachuelos y áreas costeras. Esto hace que un determinado curso de aguas rebese su cauce y afecte tierras adyacentes (OEA, 1993:8-4).

Para México, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) dice que este evento se produce cuando el gasto de las avenidas generadas en una cuenca supera la capacidad del cauce, cuando esto sucede, el exceso de agua escurre fuera del cauce sin control hacia las partes bajas". (CENAPRED 1994:18)

Haciendo una analogía o una extrapolación de las definiciones anteriores, los causas en referencia son las calles de la ciudad y la mayoría de las veces estos causas artificiales son rebasados en su capacidad de absorción (por estar sellados pierden las cualidades propias del suelo), dependiendo entonces del sistema de alcantarillado y su capacidad local de desfogue. El conjunto de estos factores llevan a provocar las situaciones que viven diferentes lugares del Distrito Federal. El alcantarillado se ve rebasado en su capacidad para desazolver las calles afectadas, ya sea por la pendiente que estos tienen, por taponamientos causados por desechos sólidos o por sedimentos arrastrados de las zonas altas, estos otros factores impiden al drenaje hacer su trabajo. Las calles son construidas de materiales no permeables e impiden que el agua acumulada se infiltre al suelo que yace bajo esa capa de roca y los hidrometeoros que se siguen precipitando aumentan el volumen de líquido que se va quedando en la superficie de las calles y si las condiciones para esta amenaza son ideales afectarán calles adyacentes o si la calle presenta irregularidades topográficas,

como lo son los desniveles pronunciados o formación de cunetas, el volumen aumentará el tirante de esa calle ahora convertida en presa.

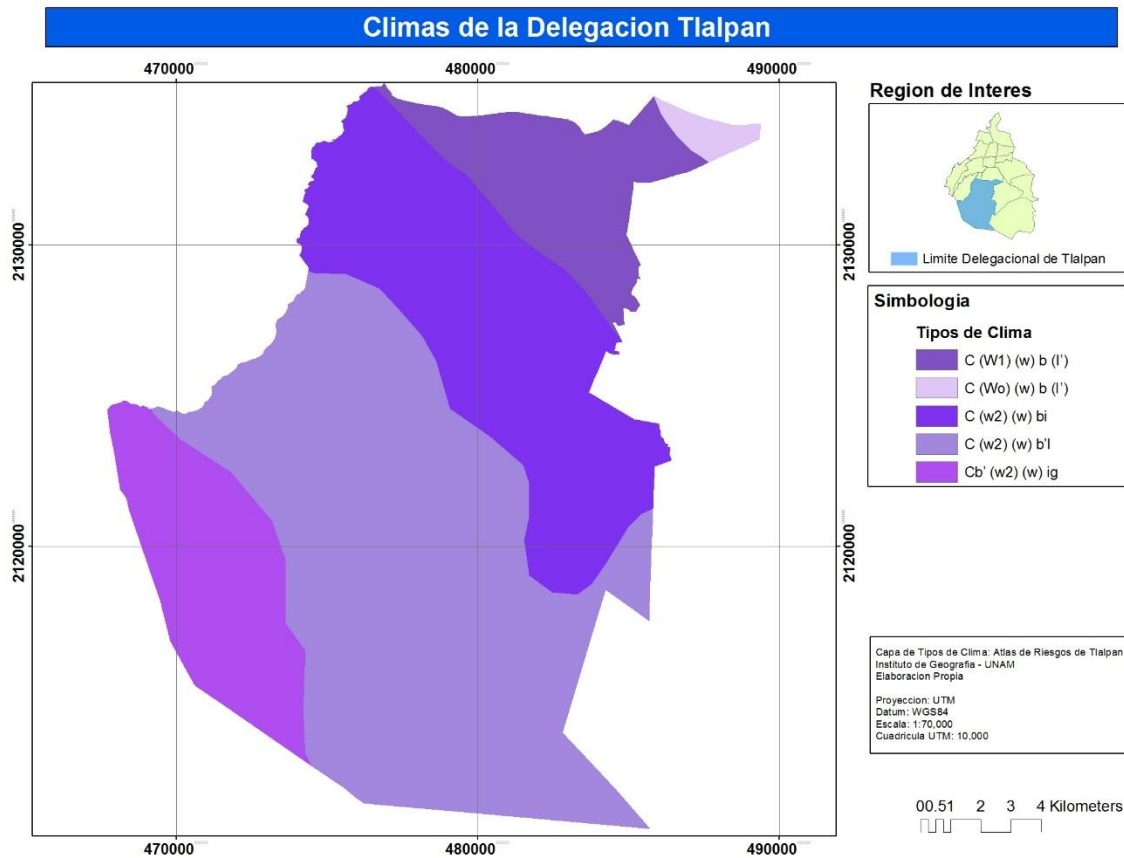
En el Distrito Federal (D.F.) las vialidades se ven seriamente afectadas por precipitaciones abundantes, existen puntos donde estos fenómenos son recurrentes pues la magnitud de los daños causados es grande, la extensión del encharcamiento es tal que afecta varios kilómetros de vialidades, en algunos casos la profundidad es de hasta 3m y en algunos otros casos lamentables existe la pérdida de vidas. No todos y no siempre los lugares afectados tienen el reconocimiento de la prensa así que no se tiene un control sobre todos los puntos de la ciudad o de la Delegación que son afectados, pero aquellos que persisten en el tiempo son de los que más hay reporte.

La Región

El clima es evidentemente un factor importante, pues de este se desprenden muchas variables para la actividad humana, desde el confort intra y extra muros hasta los costos de los alimentos, que se ven afectados por fenómenos climáticos. La conducta humana también se ve afectada por el clima dependiendo de los gustos personales o el trabajo que el individuo realice, llegando al punto de poder ser contrarios; tomemos en cuenta el siguiente ejemplo: las personas que viven en asentamientos urbanos, perciben a la lluvia o a los días nublados como días incómodos en sus actividades diarias, en el medio urbano la lluvia entorpece vialidades, causando principalmente encharcamientos y en algunos sectores inundaciones, aunado a esta situación física está la imprudencia humana y los accidentes que de esto deriven, ahora este mismo ejemplo de un día lluvioso en un asentamiento rural o de campo, las personas que se desarrollan en ese medio lo percibirán de manera diferente, pues de estos días dependen sus cosechas, sus animales de corral y hasta el individuo mismo, es en este punto donde la percepción cambia pues el dar la bienvenida a dichos días (Jáuregui, 2000).

La cuenca de México es tropical, atemperado por la altitud inherente de su posición geográfica y por su ubicación céntrica dentro del territorio nacional. Usando la clasificación de Köppen, se puede definir el clima de esta región como templado en su porción centro-sur, y seco de tipo estepa en la parte norte-oriental, siendo en esta parte donde la presencia de lluvia es escasa, donde la lluvia anual varía entre un rango de 400 a 550 mm, mientras que la temperatura anual oscila entre los 15° y 17° (Ídem).

Para la región que constituye el perímetro de la Delegación Tlalpan y sus interiores, el clima se conforma por cinco diferentes tipos que se pueden ver representados en el siguiente mapa.



Mapa 2. 2 Climas Locales de la Delegación Tlalpan usando la escala de Köppen Modificada

Fuente: Elaboración Propia

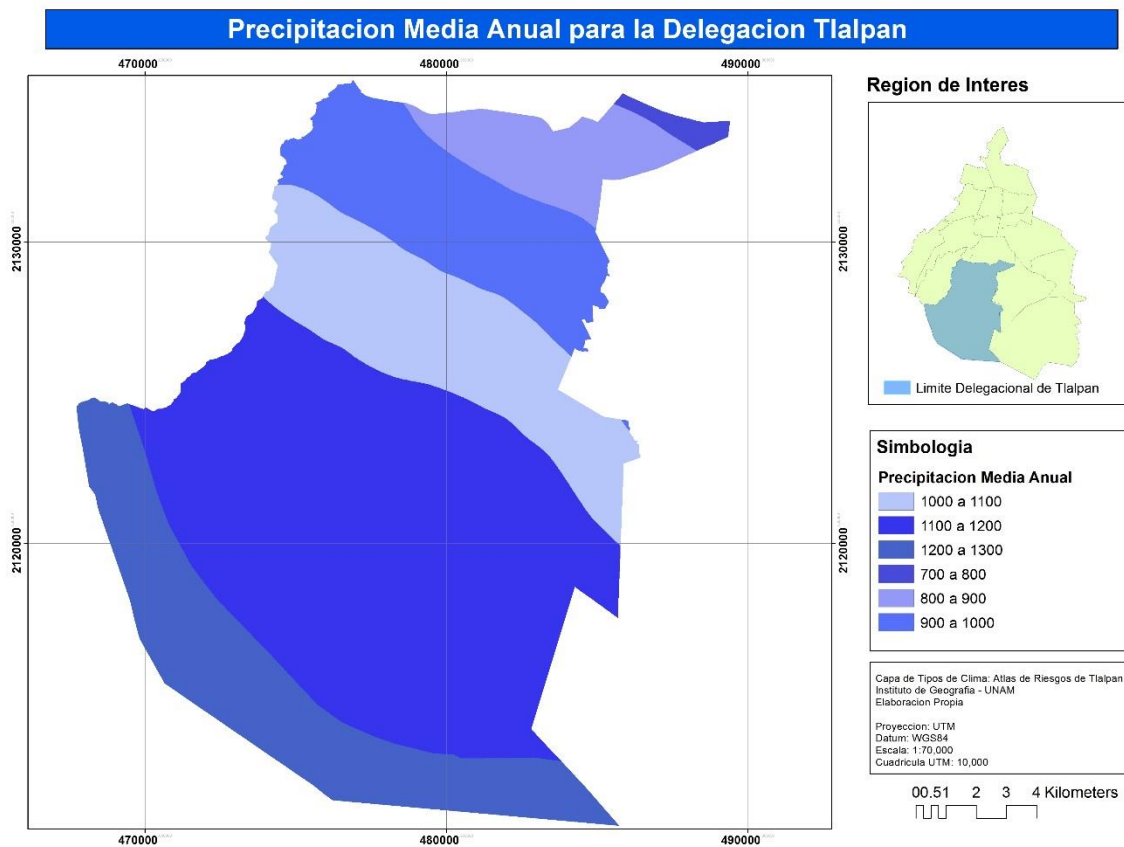
- C (W1) (w) b (I'): Templado subhúmedo , con lluvias en verano, humedad media, con temperaturas medias de 10° C a 22°C
- C (W0) (w) b (I'): Templado subhúmedo, con lluvias en verano, menor humedad con temperaturas medias de 10° C a 22°C
- C (W2) (w) b i: Templado subhúmedo, con lluvias en verano, mayor humedad con verano fresco y largo, isotermal
- C (W1) (w) b' I: Semifrío, con verano fresco y largo, humedad media con temperaturas medias de 10°C a 22°C
- C b' (W2) (w) i g: Semifrío, mayor humedad, Isotermal, mes más caluroso en primavera

El clima de cada una de las divisiones de color en las que se ve repartida el área de la delegación está estrechamente ligado a diferentes factores que componen el clima específico de cada una de esas pequeñas regiones. Los elementos atmosféricos que lo componen son la precipitación, humedad y evaporación, temperatura, insolación, presión atmosférica y viento.

De los factores antes mencionados la precipitación juega un papel importante en este estudio, de ella se desprenden aquellos fenómenos que captan el interés de la personas involucradas en este

escrito, dichos fenómenos afectan directa o indirectamente a la población residente de esta delegación.

A pesar de la tala inmoderada de los bosques ocurrida en los años anteriores y hasta el presente, la estación húmeda se ha mantenido invariable en el tiempo, aunque localmente la humedad ha decrecido, mientras que en el poniente de la capital del país, los aguaceros intensos son más frecuentes que en años pasados. Esta frecuencia de los aguaceros (lluvias fuertes de hasta 30 mm) antes mencionados ha incrementado de entre 10 a 15 eventos por década hasta el presente donde estos incidentes van en aumento hasta 25 por década. La temporada húmeda o de lluvias comprende un periodo que va del mes de Mayo al mes de Octubre siendo coincidente parte de este periodo con la temporada de huracanes (Jauregui & Romales, 1996b). La precipitación media anual (PMA) para nuestra región de estudio va de los 700 mm hasta los 1300 mm anualmente.



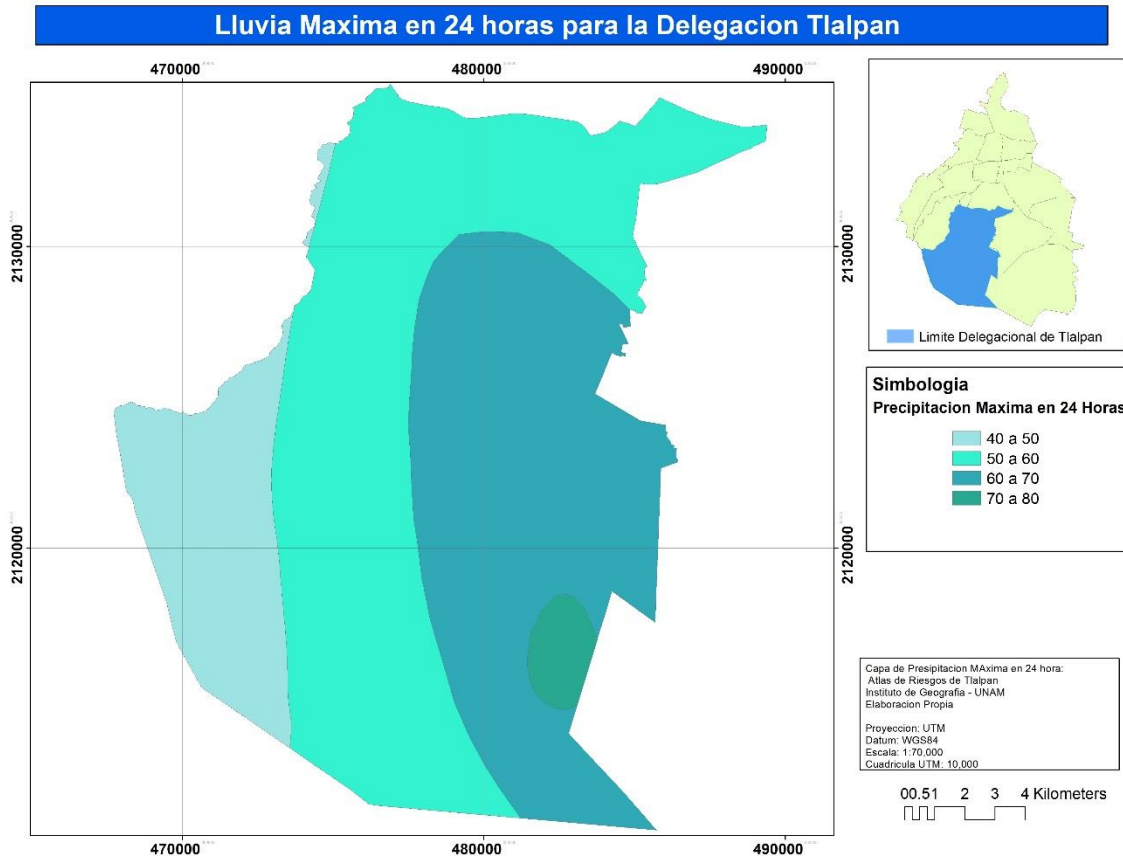
Mapa 2. 3 Precipitación Media Anual para la Delegación Tlalpan

Fuente: Elaboración Propia

Lluvia máxima en 24 horas.

Destacan zonas rurales al oriente y poniente de la ciudad donde lluvias máximas en un periodo de 24 horas. han alcanzado los 100 mm. Estas tormentas de lluvia intensa en periodos cortos son las que ocasionan mayor número de daños por las subsecuentes inundaciones en calles mal planeadas

o donde los drenajes no fueron diseñados para soportar la cantidad de agua que intenta introducirse por las coladeras o bocas de tormenta y que al ser rebasada la capacidad de estas quedan inoperantes en su función dando como resultado la génesis de encharcamientos leves y en ocasiones inundaciones que causan daños a propiedades y afectaciones en el libre tránsito de los automóviles.



Mapa 2. 4 Lluvia Máxima en 24 horas

Fuente: Elaboración Propia

La delegación cuenta con puntos identificados donde este tipo de fenómenos son recurrentes, desde este punto de vista, el afirmar que estos son los únicos puntos en toda la delegación donde ocurren estos percances sería una falsedad, la mayoría de estos percances son reportados por medios de comunicación o personas vía redes sociales sin embargo ocurren inundaciones en colonias, calles o AHI donde los reportes no se hacen o donde existe negligencia de la gente o de las autoridades hacia este tipo de percances. Los puntos de los que más se han podido encontrar datos son los siguientes:

Tabla 3

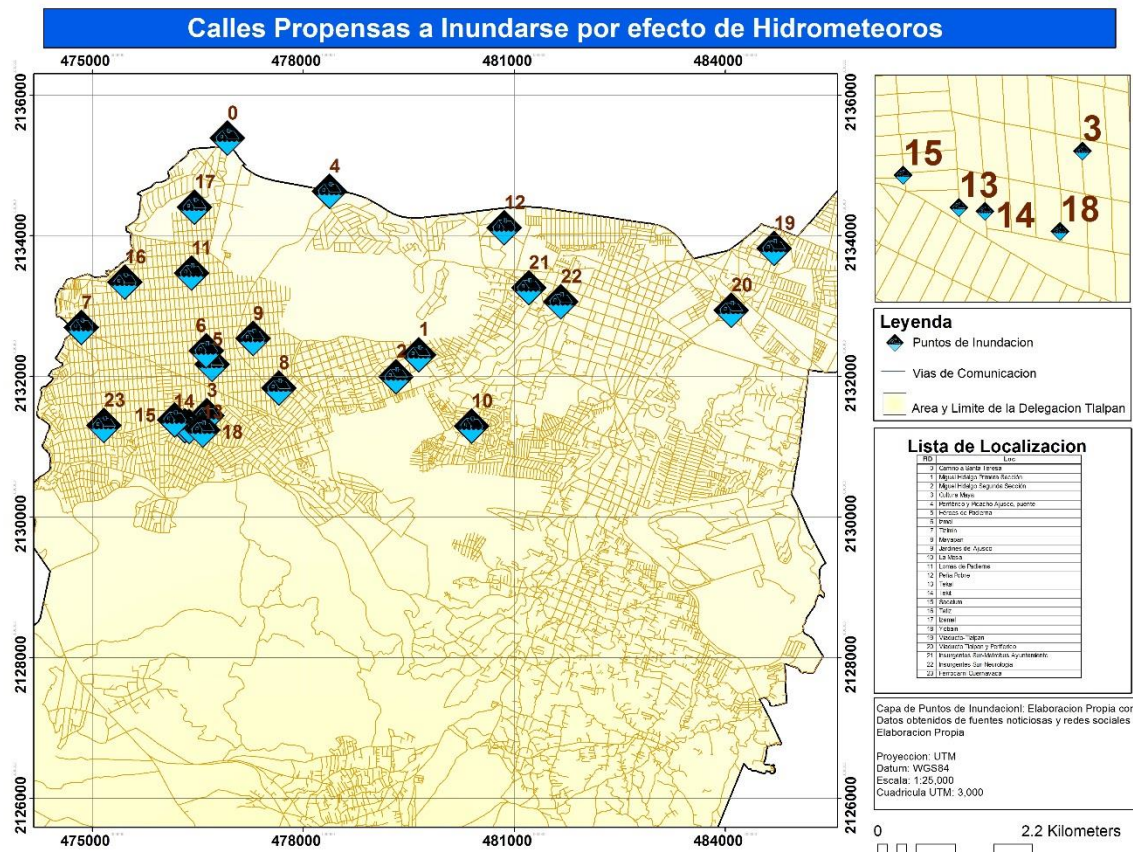
<i>Punto de Inundación</i>	Descripción	Fecha	Y	X
<i>Camino a Santa Teresa</i>	Calle	05/07/2010	19.3121972	-99.2197083
<i>Camino a Santa Teresa</i>	Calle	05/08/2011	19.3121972	-99.2197083
<i>Camino a Santa Teresa</i>	Calle	20/06/2011	19.3121972	-99.2197083
<i>Camino a Santa Teresa</i>	Calle	23/08/2011	19.3121972	-99.2197083
<i>Camino a Santa Teresa</i>	Calle	21/08/2012	19.3121972	-99.2197083
<i>Camino a Santa Teresa</i>	Calle	26/09/2012	19.3121972	-99.2197083
<i>Miguel Hidalgo Primera Sección</i>	Colonia	16/07/2011	19.2843861	-99.1937694
<i>Miguel Hidalgo Segunda Sección</i>	Colonia	16/07/2011	19.2815528	-99.1968333
<i>Cultura Maya</i>	Colonia	16/07/2011	19.2765306	-99.2224361
<i>Periférico y Picacho Ajusco, puente</i>	Calle	08/07/2003	19.3053889	-99.2058694
<i>Periférico y Picacho Ajusco, puente</i>	Calle	20/06/2011	19.3053889	-99.2058694
<i>Periférico y Picacho Ajusco, puente</i>	Calle	15/07/2011	19.3053889	-99.2058694
<i>Periférico y Picacho Ajusco, puente</i>	Calle	12/08/2012	19.3053889	-99.2058694
<i>Periférico y Picacho Ajusco, puente</i>	Calle	24/08/2012	19.3053889	-99.2058694
<i>Periférico y Picacho Ajusco, puente</i>	Calle	22/09/2013	19.3053889	-99.2058694
<i>Periférico y Picacho Ajusco, puente</i>	Calle	23/05/2014	19.3053889	-99.2058694
<i>Héroes de Padierna</i>	Colonia	08/07/2003	19.2831167	-99.2217389
<i>Héroes de Padierna</i>	Colonia	23/09/2011	19.2831167	-99.2217389
<i>Izmal</i>	Calles	23/09/2011	19.284875	-99.2225222
<i>Izmal</i>	Calles	01/09/2013	19.284875	-99.2225222
<i>Tizimin</i>	Calles	23/09/2011	19.2878306	-99.2394333
<i>Tizimin</i>	Calles	01/09/2013	19.2878306	-99.2394333
<i>Mayapan</i>	Calle	24/08/2012	19.2800972	-99.2127056
<i>Jardines del Ajusco</i>	Colonia	20/10/2013	19.2864528	-99.2161778
<i>La Mesa</i>	Colonia	15/07/2011	19.2752222	-99.1866083
<i>Lomas de Padierna</i>	Colonia	08/07/2003	19.2948417	-99.2245389
<i>Lomas de Padierna</i>	Colonia	15/07/2011	19.2948417	-99.2245389
<i>Lomas de Padierna</i>	Colonia	23/08/2012	19.2948417	-99.2245389
<i>Lomas de Padierna</i>	Colonia	09/09/2013	19.2948417	-99.2245389
<i>Peña Pobre</i>	Colonia	15/07/2011	19.3007139	-99.182225
<i>Tekal</i>	Calles	01/09/2012	19.2752278	-99.225425
<i>Tekal</i>	Calles	09/09/2013	19.2752278	-99.225425
<i>Tekal</i>	Calles	10/09/2013	19.2752278	-99.225425
<i>Tekit</i>	Calles	08/09/2013	19.2751389	-99.2247944
<i>Tekit</i>	Calles	10/09/2013	19.2751389	-99.2247944
<i>Sacalum</i>	Calles	10/09/2013	19.2759694	-99.2267806
<i>Tetiz</i>	Calles	10/09/2013	19.2936861	-99.2335694
<i>Izamal</i>	Calles	22/09/2010	19.3033306	-99.2241528
<i>Izamal</i>	Calles	23/09/2011	19.3033306	-99.2241528

Yobain	Calles	12/10/2011	19.2746806	-99.222975
Viaducto-Tlalpan	Calles	22/09/2013	19.2980944	-99.1456917
Viaducto Tlalpan y Periférico	Calles	23/09/2013	19.2901444	-99.1515083
Insurgentes Sur-Metrobús Ayuntamiento	Calles	02/07/2014	19.293025	-99.1788778
Insurgentes Sur-Neurología	Calles	24/08/2011	19.2912194	-99.1745667
Ferrocarril Cuernavaca	Calles	08/07/2003	19.2752444	-99.2363806
Las Torres y Pirindos	Calles	S/E	19.2735611	-99.3715

Tabla 3 Lista de puntos en la delegación Tlalpan que sufren periódicamente de inundaciones por efecto de hidrometeoros

Fuente: Elaboración propia a partir de artículos periodísticos.

Cada uno de esto punto cuenta con las fechas en que ocurrieron los percances además de mostrar las coordenadas geográficas decimales que permiten la ubicación de estos puntos en un mapa, para hacer más fácil la localización de las calles, y analizar su entorno en un SIG.



Mapa 2.5 Localidades propensas a sufrir encharcamientos por efecto de hidrometeoros

Fuente: Elaboración Propia

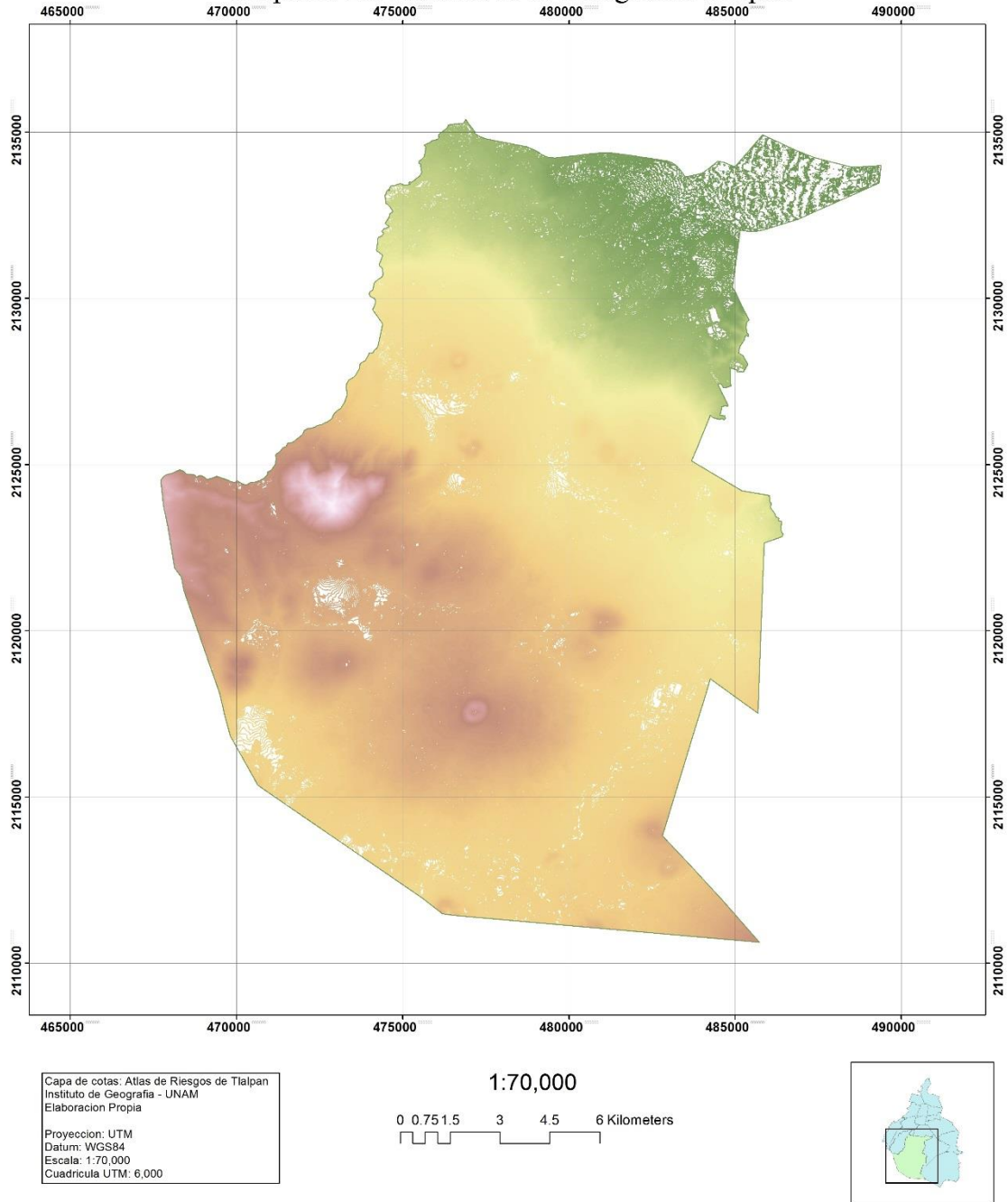
FID	Localidad
0	Camino a Santa Teresa
1	Miguel Hidalgo Primera Sección
2	Miguel Hidalgo Segunda Sección
3	Cultura Maya
4	Periférico y Picacho Ajusco, puente
5	Héroes de Padierna
6	Izmal
7	Tizimin
8	Mayapan
9	Jardines del Ajusco
10	La Mesa
11	Lomas de Padierna
12	Peña Pobre
13	Tekal
14	Tekit
15	Sacalum
16	Tetiz
17	Izamal
18	Yobain
19	Viaducto-Tlalpan
20	Viaducto Tlalpan y Periférico
21	Insurgentes Sur-Metrobús Ayuntamiento
22	Insurgentes Sur-Neurología
23	Ferrocarril Cuernavaca

Tabla 4 Tabla del Mapa 2.5

Fuente: Elaboración Propia

El total de los puntos se encuentra en las zonas bajas de la delegación, esto nos indica que el agua que se precipita en las zonas altas, viaja a las zonas de menor altura, el sellamiento de los suelos debido a la expansión urbana no proyectadas, las vías igualmente impermeabilizadas y la infraestructura hidráulica inadecuada promueven que estos puntos sean propensos a inundarse. En el siguiente mapa se puede ver claramente por colorimetría como las zonas en verde son aquellas con menor altura respecto a las zonas en amarillo y rojo, y que estos puntos representados en el mapa de “Calles Propensas a Inundarse por efecto de Hidrometeoros” se encuentran en las zonas bajas de la Delegación Tlalpan.

Mapa de Elevaciones de la Delegación Tlalpan



Mapa 2. 6 Mapa de elevaciones por color

Fuente: Elaboración Propia a partir de LiDAR

Como se menciona en párrafos anteriores durante el recorrido se fueron encontrando diversas zonas o puntos donde esto ocurre, en otras líneas se da a conocer que hay lugares en donde no se hace la llamada a las autoridades o donde no se hace el registro de este evento. Existen lugares en la delegación Tlalpan donde las personas viven sus problemas no totalmente desamparados pero si en un abandono parcial. En estas condiciones se encuentra nuestro sector de interés.

El Sector

El sector de interés, en este caso calles de interés se encuentran en la colonia San Juan Tepeximilpa que se localiza dentro de la Zona Territorial número uno siendo la calle de Las Torres frontera de la Zona antes mencionada y el comienzo del AHI de Diamante Tepeximilpa.



Mapa 2. 7 Muestra con líneas de diferentes colores las calles de Las Torres y Pirindos

Fuente: Elaboración Propia

Problemática de Calle Las Torres y Calle Pirindos en el AHI Diamante

Los habitantes de esta calle reportan que durante los periodos de lluvias, especialmente cuando son lluvias fuertes y prolongadas, se sufre de inundaciones debido a que los sistemas de desagüe no logran desalojar el agua que se acumula en esta sección de la calle o por que la pendiente del alcantarillado no es congruente, esta situación provoca inundaciones que afectan el modo de vida de la gente y pone en peligro el patrimonio y la salud de los que allí habitan.

Además de los efectos que causan los hidrometeoros y el sistema de alcantarillado, la topografía es un factor de importancia a considerar. La calle no está completamente nivelada en su construcción y se localiza en la parte baja que describe la orografía local, haciéndola propensa a acumular el líquido en las concavidades formadas por la diferencia en la nivelación al momento de su trazo y posterior pavimentación.

Para poder cotejar este razonamiento se hizo un levantamiento topográfico de la calle Las Torres, donde posteriormente se tomó la decisión de continuar el levantamiento hacia la calle de Pirindos debido a que esta describe la misma característica por la que se decidió hacer en primera instancia un levantamiento topográfico en la calle de Las Torres.

El levantamiento consta de la propagación de coordenadas UTM a los diferentes puntos, dichas coordenadas iniciales fueron obtenidas mediante un GPS Sokkia GRX-1 de alta precisión. EL levantamiento se inicia dirección norte en la guarnición cercana a la intersección de las calles Tlapanecos y las Torres siguiendo el recorrido natural de la calle Las Torres hacia Calle Pirindos así como se muestra en el mapa de localización, teniendo como equipo una estación Sokkia SET 650RX y coordenadas iniciales:

N	W	h(msnm)
2130975.458	479697.268	2453.093



Figura 2. 3 Foto de la esquina donde se localiza el punto de inicio C1

Fuente: Imágenes de Google Earth (Street View)

El levantamiento permite obtener una perspectiva única al poder manipular de manera tridimensional el modelo obtenido, dejando observar el terreno desde diferentes ángulos.

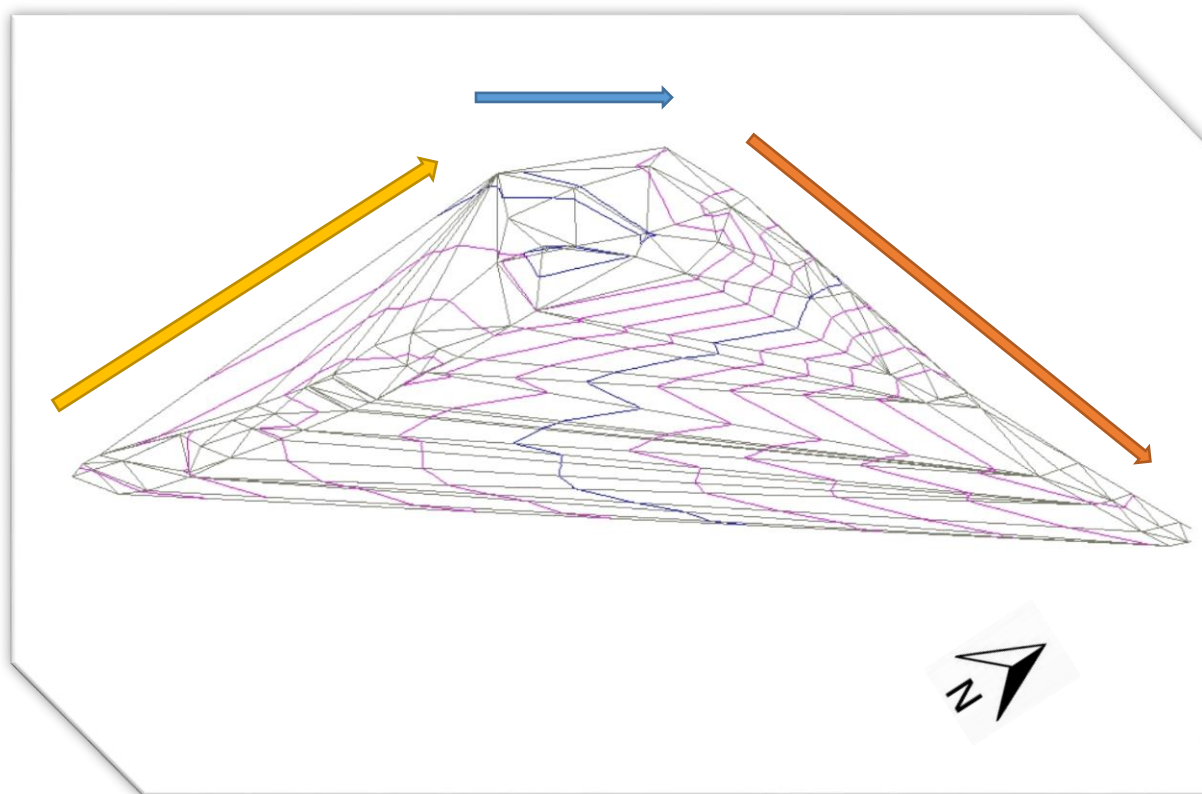


Figura 2. 4 Vista Front – Right en AutoCAD de los puntos ya triangulados y con las curvas de nivel, curvas maestras en Azul

Fuente: Levantamiento Topográfico

Las Figuras 2.4 y 2.5 son las vistas que permiten observar en una representación plana el comportamiento del modelo digital de las calles la calle Las Torres hacia Calle Pirindos, es una representación adquirida a partir de un corte transversal de la zona levantada topográficamente y que nos permite visualizar de manera más fácil las diferencias existentes entre las cotas. Sin embargo lo que en verdad nos ayudará a entender cómo sucede la retención del agua, es el perfil del terreno.

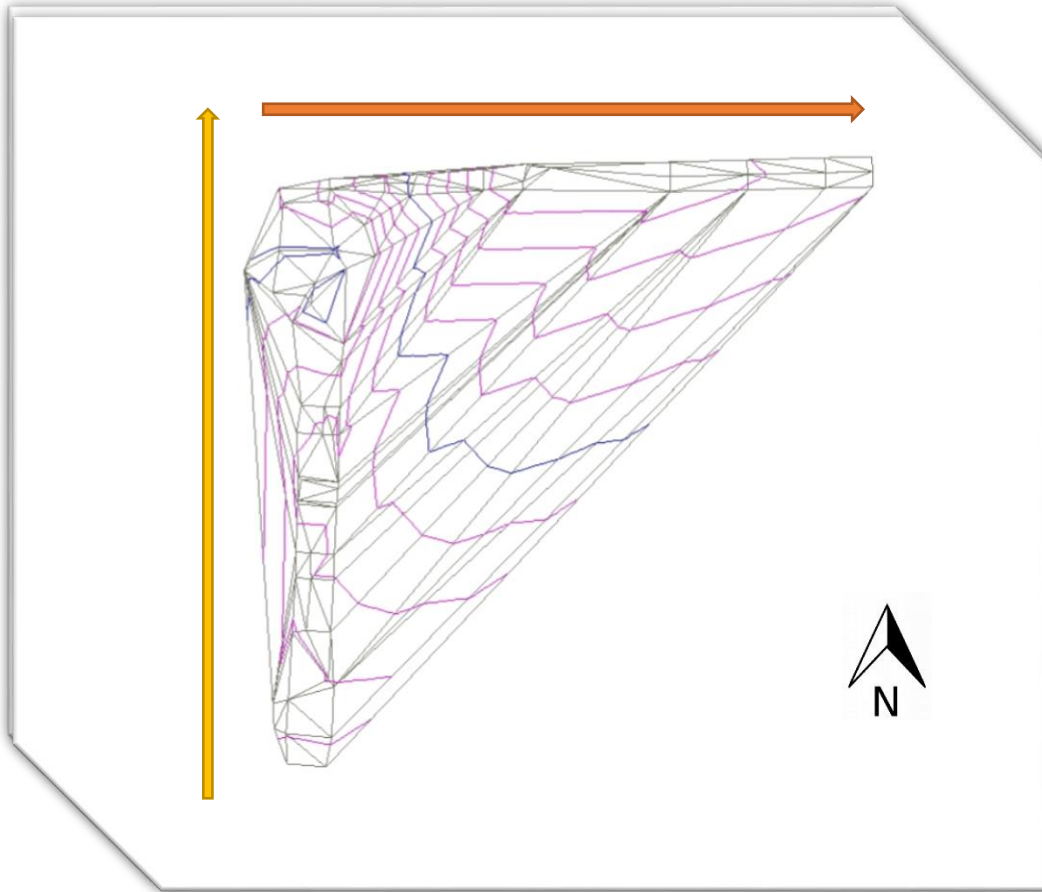
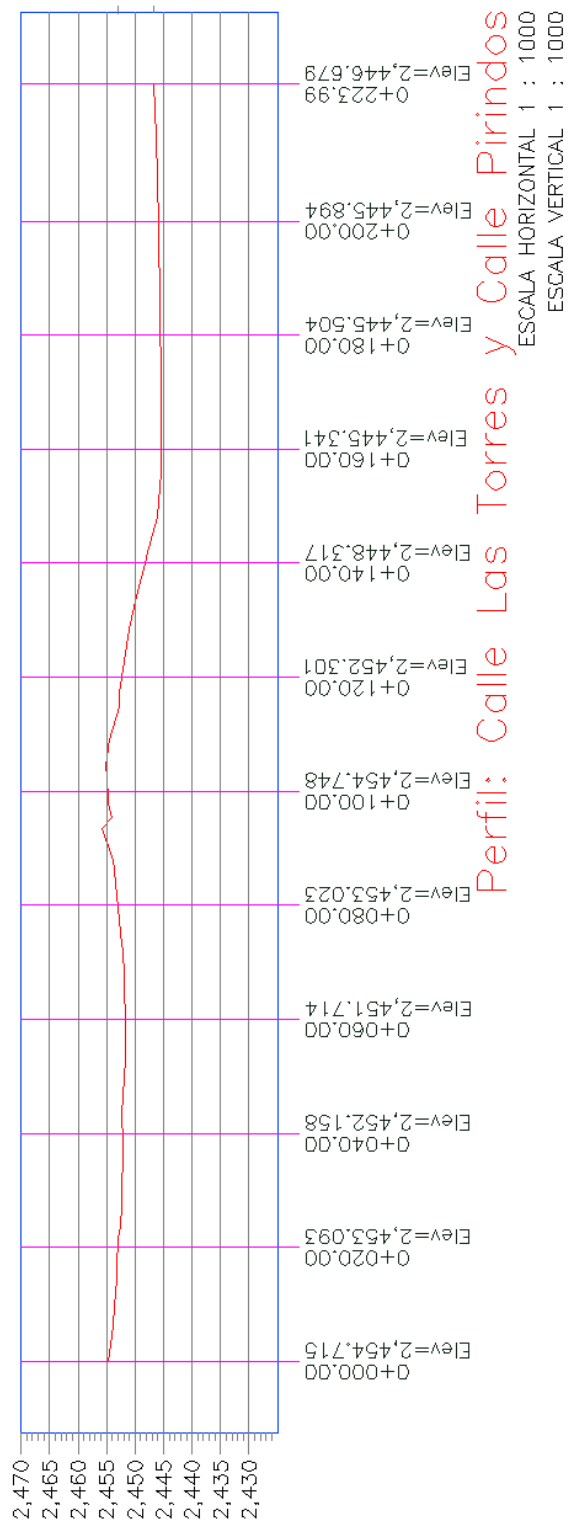


Figura 2. 5 Vista Top en AutoCAD de los puntos ya triangulados y con las curvas de nivel, curvas maestras en Azul: La flecha amarilla indica el sentido de la calle Las torres, la flecha naranja muestra el Sentido de la calle Pirindos

Fuente: Levantamiento Topográfico

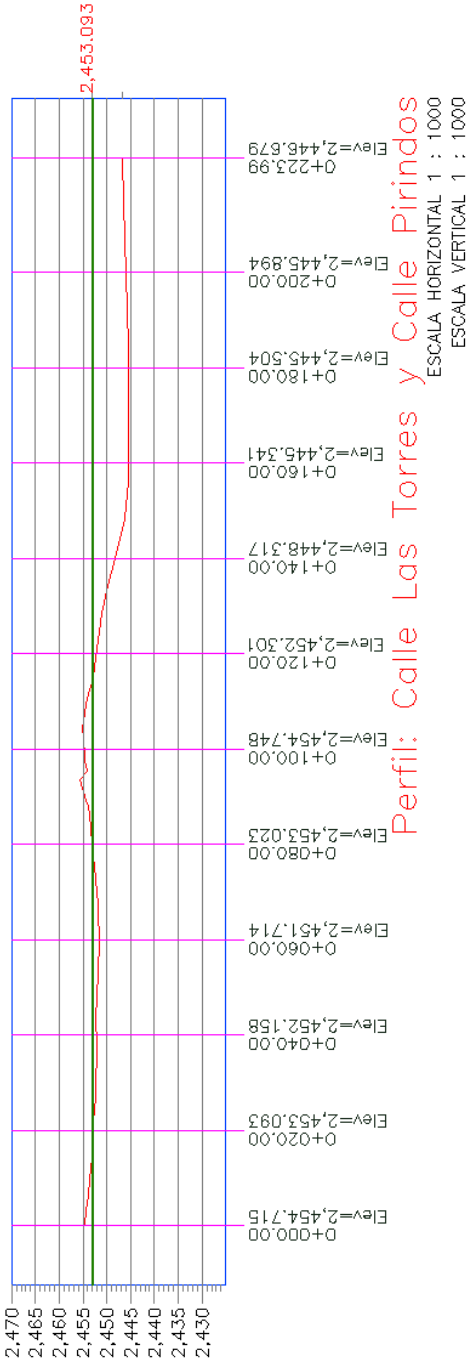
El perfil 1 y 2 de las calles Las Torres y Calle Pirindos, están en secciones cada 20 metros, con escala horizontal y vertical 1:1000, con éstos parámetros permiten identificar la cuneta que ocasiona por su propia topografía de corte y mal trazo la zona propensa a encharcamiento.



Perfil 2. 1 Perfil de las calles Las Torres y Calle Pirindos secciones cada 20 metros

Fuente: Levantamiento Topográfico

El levantamiento de la calle de Las Torres toma en cuenta también puntos detrás del punto de inicio, estos puntos nos ayudan a dibujar y a poder ver de manera más sencilla la cuneta que se forma, a su vez la aportación que recibe desde las zonas aledañas.



Perfil 2. 2 Perfil de las calles Las Torres y Calle Pirindos secciones a cada 20 metros, con línea de nivel (verde) en C1

Fuente: Levantamiento Topográfico

Las características topográficas de la zona que han sido analizadas con el software y el conocimiento científico – técnico, nos deja claro cómo la carencia de una adecuada planeación de la topografía del trazo de la calle, ocasiona que sea propensa a sufrir de encharcamientos.

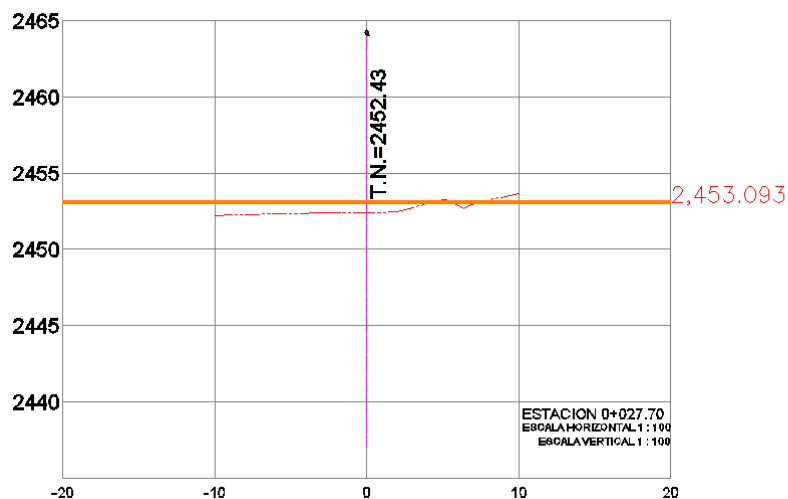


Figura 2. 6 Zoom de la cuneta que se forma en la calle Las Torres

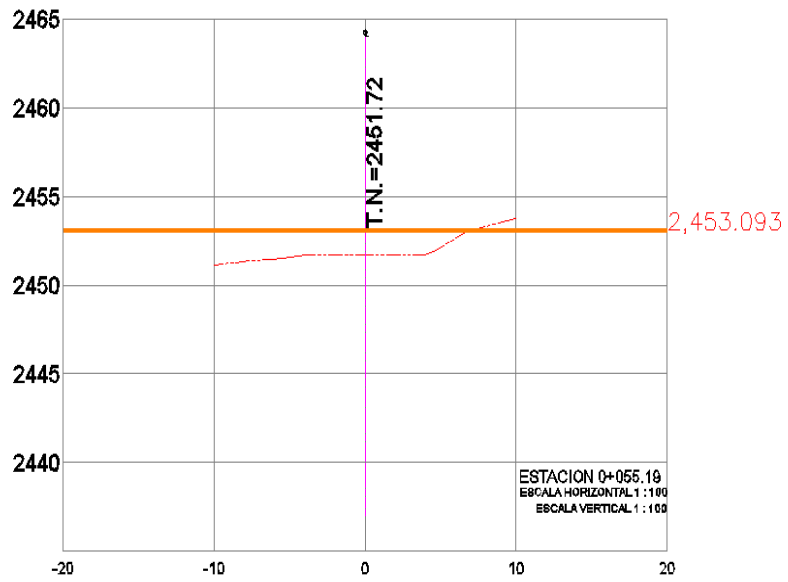
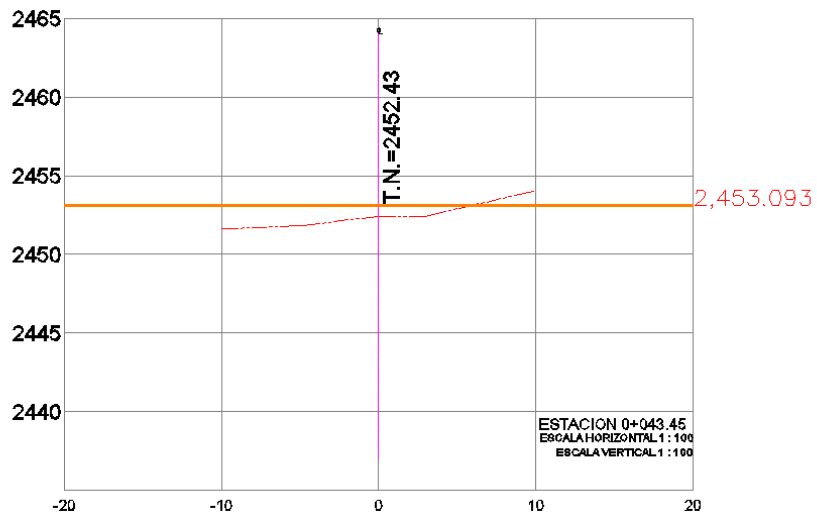
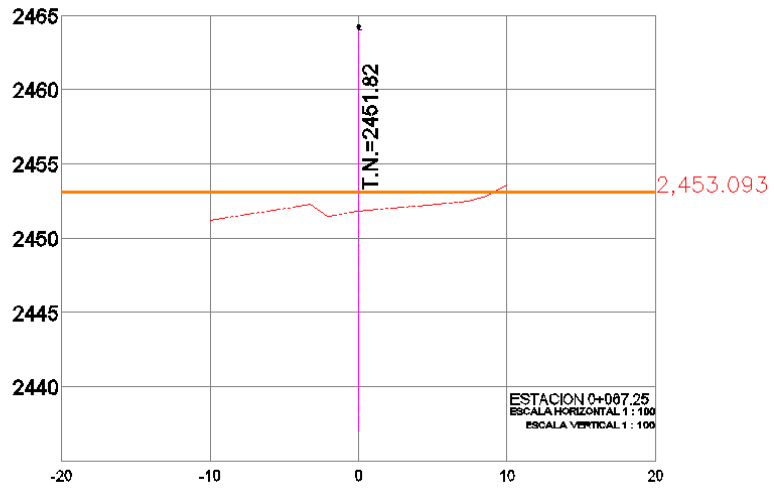
Fuente: Levantamiento Topográfico

En este acercamiento que se hace específicamente en el inicio y fin de esta depresión en el terreno se puede ver mediante la escala métrica que se encuentra en el extremo izquierdo de la Figura 2.11, donde la línea de color verde representa la altura media respecto al nivel del mar (msnm) del punto C1 (punto de inicio del levantamiento topográfico) y la línea de color rojo que representa el perfil del terreno, nos deja corroborar de esta manera que, existe dicha característica del terreno y que hace factible la formación de encharcamientos por efecto de hidrometeoros.

Sección 1



Secciones 2 a 4



Secciones 4 a 7

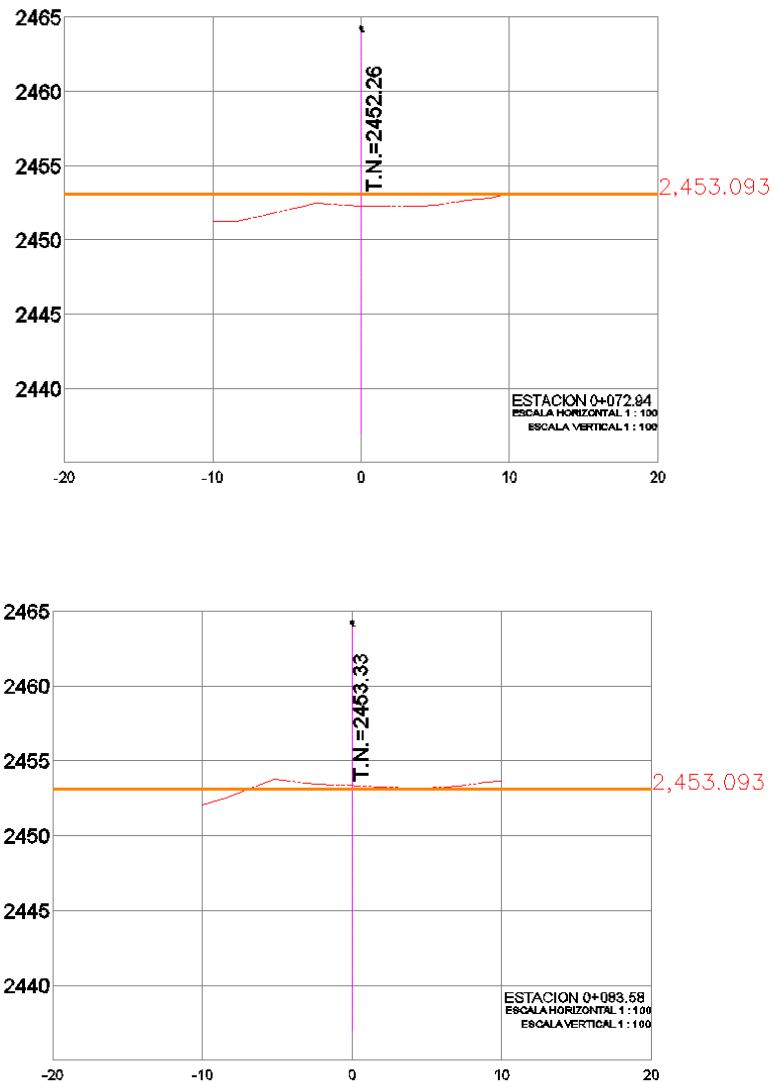
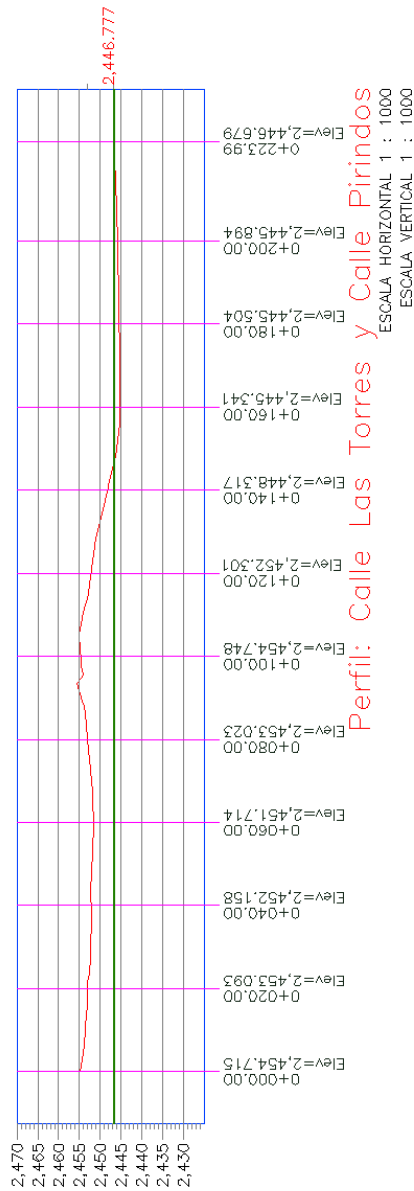


Figura 2. 7 Representación de las Secciones 1 a 7, Bajo criterio del Ingeniero, cada sección es una porción del perfil del terreno donde el nivel dictado por C1 (Línea Naranja) nos indica si estas pequeñas secciones quedan por arriba o por debajo del nivel propuest

Fuente: Levantamiento Topográfico

En las secciones que se obtuvieron bajo el criterio de quien realizó el trabajo de campo, se toman las secciones en los puntos donde se considera existe un cambio de pendiente representativa se puede observar como la calle va quedando bajo la cota propuesta de 2453.093m de manera paulatina.

Durante el trabajo topográfico que se hizo en calle Las torres, se decidió extender las mediciones hacia calle Pirindos, esto obedece a lo que ya se explicó en párrafos anteriores y además se quiere determinar si es un fenómeno único de la calle Las Torres. El perfil es el mismo solo cambia la posición de la línea verde que representa la altura de los últimos puntos que delimitan el levantamiento y donde también da cuenta que la calle forma una trampa para el agua, pudiendo provocar encharcamientos.



Perfil 2. 3 Perfil de las calles Las Torres y Calle Pirindos secciones a cada 20 metros, con línea de nivel (verde) en P80

Fuente: Levantamiento Topográfico



Figura 2. 8 Zoom de la cuneta que se forma en la calle Pirindos

Fuente: Levantamiento Topográfico

Al finalizar el levantamiento y tomar en cuenta la calle Las Torres hasta su intersección con la calle Benito Juárez, se resalta la formación de esta cuneta, descrita en el zoom que se hace al perfil de esta calle.

Se tuvo contacto con la gente que allí habita. Las personas refieren sufrir continuamente de inundaciones en especial, la dueña de la casa localizada en la parte más profunda de la primera cuneta que se forma en Calle Las Torres, es por esta razón que para acceder a la casa se tenga que rodear una barda, que funciona como medida de mitigación.



Figura 2. 9 Casa afectada por inundaciones

Fuente. Google Earth (Street View) 2010

En la calle de Pirindos se puede observar cómo se forma un incremento en la pendiente debido a la diferencia de alturas que hay de calle a calle.



Figura 2. 10 Calle Pirindos, Desnivel

Fuente: Obtención Propia

El que estos sucesos ocurran periódicamente en una zona, representa grandes riesgos para las familias y en especial para la población pediátrica o geriátrica del mismo núcleo familiar, puesto que la humedad presenta una buena oportunidad de crecimiento para algunas especies de hongos que pueden afectar la vía respiratoria, si se dejan crecer o si no se mantienen secos los cuartos, representando una afectación a nivel salud para la población susceptible al efecto de encharcamiento o inundación de la amenaza que para ellos es la lluvia y para el gobierno un problema de salud en el asentamiento.

En el tiempo que se trató con la gente nos pudieron indicar que se han realizado obras para mitigar los efectos de la lluvia, pero refieren los habitantes de estas calles, que aun con las obras de mitigación los encharcamientos continúan siendo parte de su realidad.

En busca de la respuesta se hace el análisis del pozo de captación Imágenes 2.15 y 2.16, con sorpresa él no está conectado al drenaje de las calles adyacentes que ya lleva consigo una carga de agua considerable, cuando el pozo se llena, este conecta con el drenaje de la calle de Pirindos, donde se

quiere hacer pasar un volumen mayor de agua por la misma tubería con el mismo diámetro que se podría encontrar saturado ya para la misma cantidad de lluvia, esto genera encharcamientos sin importancia si el tiempo de la precipitación es corto, pero si el tiempo aumenta y el volumen de agua se mantiene constante o aumenta, los encharcamientos serán de consideración y afectaran el modo de vida de la gente.

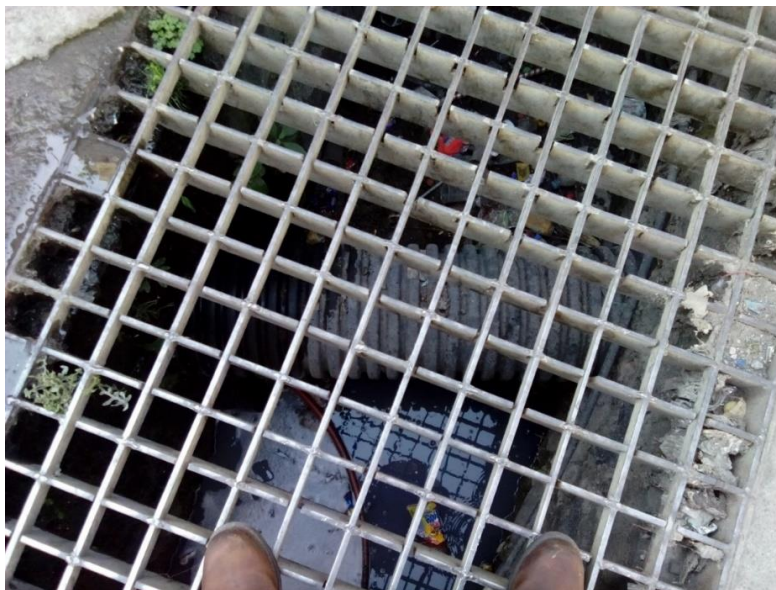


Figura 2. 11 Pozo de captación, donde se observa la tubería perteneciente a la calle de Yerogios
Fuente. Obtención Propia



Figura 2. 12 Mismo pozo de captación, se sigue la dirección del tubo negro y se observa que conecta con el drenaje de la calle Pirindos
Fuente. Obtención Propia

Periodo de Retorno

Se entiende como periodo de retorno al tiempo comprendido entre dos eventos de probabilidad baja, como pueden ser eventos hidrometeorológicos de gran magnitud. Para fines de este estudio se trabajara con las estaciones más cercanas a los AHÍ. Habrá que tomar en cuenta que las estaciones meteorológicas no cuentan con una base de datos completa y que están sujetas a desperfectos que limiten la adquisición de los mismos, por lo que trabajaremos con los periodos más estables.

Diamante Tepeximilpa tiene dos estaciones cercanas, la cantidad de estaciones circundantes no es lo suficientemente cercanas para hacer una triangulación.

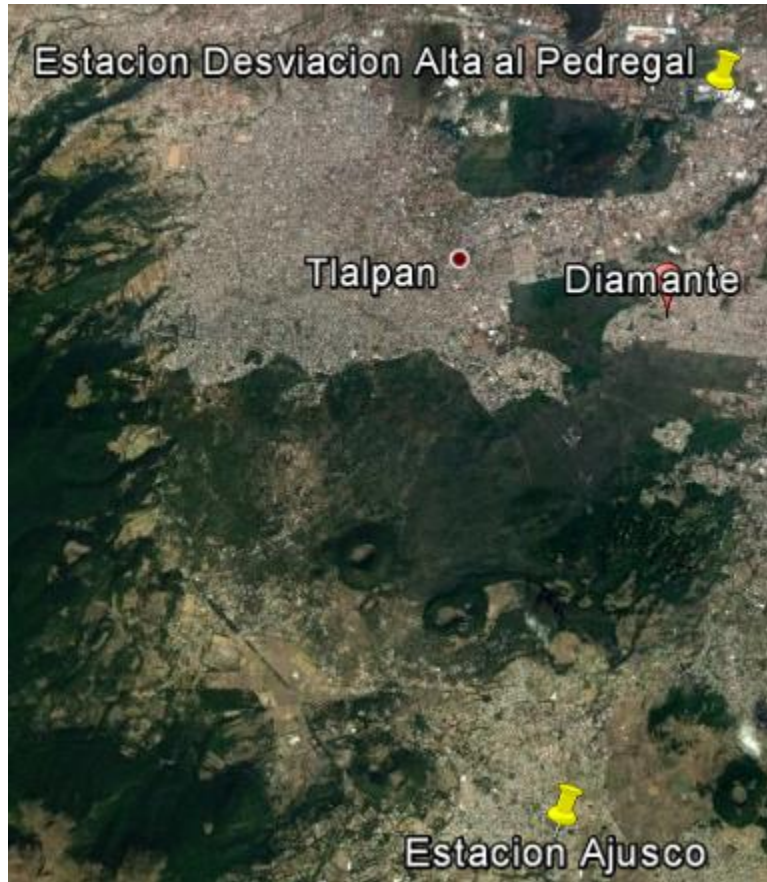


Figura 2. 13 Vista aérea de las estaciones pluviométricas cercanas a Diamante Tepeximilpa

Fuente: Google Earth y coordenadas obtenidas para las estaciones.

Para la estación “Desviación Alta al Pedregal” se cuenta con un registro de 40 años desde 1970 hasta el 2010. Usando la ecuación para el desarrollo de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) propuesta por Aparicio (1997), quien la plantea como una ecuación capaz de generar las curvas IDF para zonas con registros pluviográficos pobres:

$$I = \frac{(K)(T^m)}{t^n}$$

Ecuación 1 Ecuación propuesta por Aparicio (1997)

Fuente: (Roberto Pizarro Ing Juan Pablo Flores V Ing Claudia Sangüesa P Ing Enzo Martínez A, n.d.)

Donde:

I: Intensidad (mm/h)

t: Duración de la precipitación

T: Periodo de retorno (años)

K, m, n: constantes de regresión lineal múltiple.

Usando logaritmos naturales y sus propiedades en la Ecuación uno se encontrara los valores para los parámetros k, m, n.

$$\ln I = \ln K + m \ln T - n \ln D$$

Ecuación 2

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

Ecuación 3

Donde:

Y = Ln I

$a_0 = \ln K$

$x_1 = \ln T$

$a_1 = m$

$x_2 = \ln t$

$a_2 = -n$

Sustituiremos los valores calculados para los parámetros de regresión lineal k, m, n en la ecuación 1. También se ingresaran los valores del periodo de retorno (T) y el tiempo de la precipitación (t), obteniendo como resultado los valores de la intensidad de precipitación para graficar las curvas IDF de la estación pluviométrica "Desviación Alta al Pedregal" en función de la intensidad (I) y el tiempo de la precipitación (t). Como la base de datos crudos es extensa, esta podrá ser visualizada en un archivo PDF anexo, llamado EM-Ajusco (por cuestiones propias de los sistemas de las bibliotecas, el archivo adjunto puede ser visto en la copia digital entregada para la Biblioteca Central). La ecuación final perteneciente a esta estación con las variables de regresión lineal calculadas, queda representada por la ecuación 4.

$$I = \frac{(221.1752)(T^{0.195561})}{t^{0.61885}}$$

Ecuación 4

Los valores, resultado de los procesos matemáticos, donde se propusieron periodos de retorno o como se expresa en la tabla (Tabla 5) "Frecuencia años" de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años y

duraciones de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 minutos arroja los valores de las intensidades en los periodos de retorno y tiempo de duración de las precipitaciones propuestos.

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	93,55	60,92	47,40	39,67	34,55	30,87	28,06	25,83	24,02	22,50	21,21	20,10
5	111,91	72,88	56,70	47,46	41,33	36,92	33,56	30,90	28,73	26,92	25,38	24,04
10	128,16	83,45	64,93	54,34	47,34	42,28	38,44	35,39	32,90	30,82	29,06	27,54
25	153,31	99,83	77,68	65,01	56,62	50,58	45,98	42,33	39,36	36,87	34,76	32,94
50	175,56	114,32	88,95	74,45	64,84	57,93	52,66	48,48	45,07	42,23	39,81	37,72
100	201,05	130,92	101,87	85,25	74,26	66,34	60,30	55,52	51,61	48,36	45,59	43,20
500	275,42	179,35	139,55	116,79	101,73	90,87	82,60	76,05	70,71	66,24	62,45	59,18

Tabla 5 Valores de intensidad obtenidos para los diferentes periodos de retorno y duración de precipitación.

Fuente: Elaboración propia

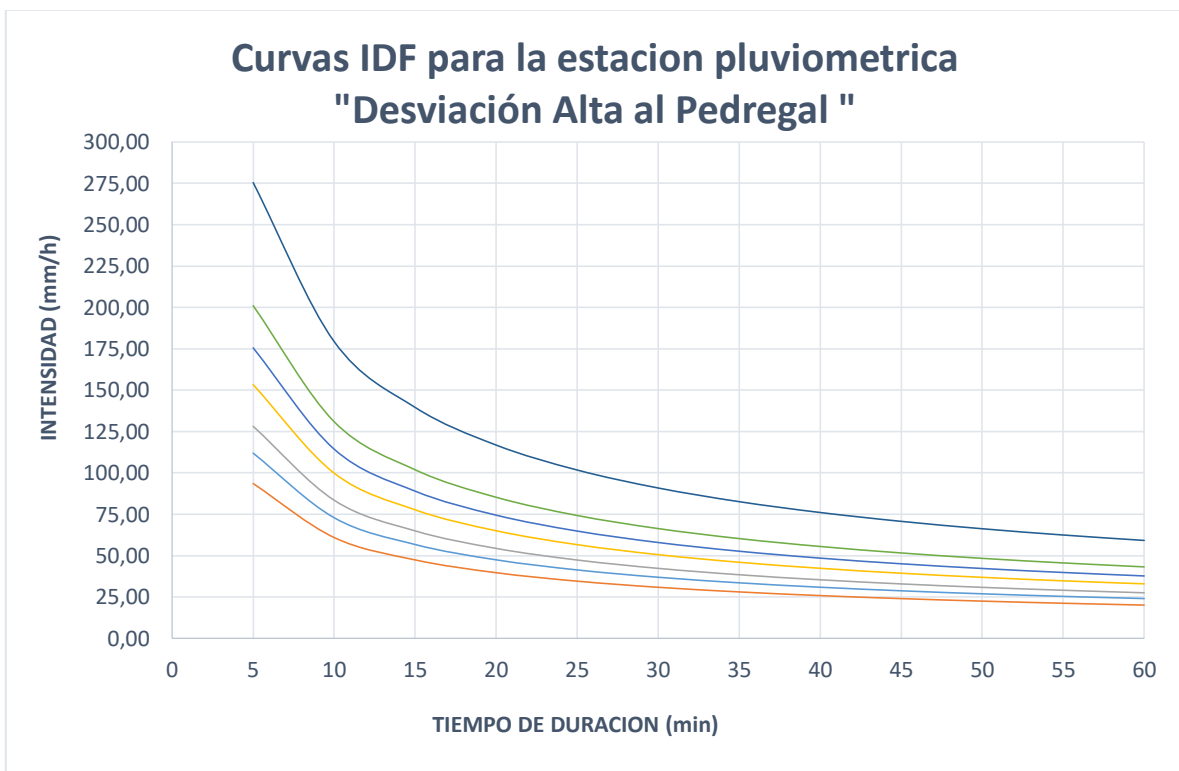


Figura 2. 14 Gráfica de las curvas IDF

Fuente: Obtención propia

Los valores obtenidos presentan decrementos relacionados directamente con la duración del evento pluvial, aunque los valores presentados son altos para periodos de retorno de 500 años en los primeros 5 minutos del evento. En la base de datos obtenida no se encontraron valores de dicha magnitud, cabe destacar que no se tiene registro de 500 o más años de lluvia para asumir esta presunción, aunque la probabilística nos puede ayudar en este caso.

Emil Julius Gumbel propone una distribución útil para modelar los datos en pro de la obtención de máximos, ésta es especialmente útil para calcular valores extremos.

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

Ecuación 5 Ecuación de Gumbel

Donde:

X = promedio aritmético

u, α = Variables Probabilísticas

e = Numero de Euler

EL cálculo de las variables probabilísticas se lleva a cabo con las siguientes ecuaciones.

$$x = \frac{\sum x_i}{n}$$

Ecuación 6 Media

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} (s)$$

Ecuación 7 Factor de Frecuencia

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n - 1}}$$

Ecuación 8 Varianza

$$u = x - 0.5772 (\alpha)$$

Ecuación 9 Parámetro U

Nº	Año	Mes	Max. Precip.	Precipitación (mm)	
				x_i	$(x_i - \bar{x})^2$

1	1970	Septiembre	56,00	0,51
2	1971	Julio	56,00	0,51
3	1972	Agosto	31,50	565,77
4	1973	Septiembre	65,70	108,45
5	1974	Julio	57,60	5,36
6	1975	Agosto	32,00	542,23
7	1976	Octubre	43,10	148,50
8	1977	Junio	56,70	2,00
9	1978	Agosto	46,00	86,23
10	1979	Agosto	33,20	487,78
11	1980	Agosto	30,00	639,37
12	1981	Septiembre	45,50	95,76
13	1982	Julio	31,50	565,77
14	1983	Septiembre	164,90	12015,26
15	1984	Julio	64,00	75,94
16	1985	Octubre	49,50	33,48
17	1986	Junio	51,40	15,10
18	1987	Junio	44,60	114,19
19	1988	Agosto	62,50	52,04
20	1989	Septiembre	29,00	690,95
21	1990	Octubre	53,00	5,23

22	1991	Junio	38,00	298,80
23	1992	Septiembre	93,00	1422,36
24	1993	Julio	63,50	67,47
25	1994	Agosto	63,50	67,47
26	1995	Septiembre	43,52	138,44
27	1996	Septiembre	71,00	246,93
28	1997	Septiembre	41,50	190,05
29	1998	Septiembre	55,00	0,08
30	1999	Agosto	45,00	105,80
31	2000	Septiembre	72,00	279,36
32	2001	Septiembre	94,50	1537,75
33	2002	Octubre	40,00	233,66
34	2003	Junio	43,00	150,94
35	2004	Enero	62,00	45,08
36	2005	Octubre	54,00	1,65
37	2006	Septiembre	47,00	68,66
38	2007	Septiembre	46,00	86,23
39	2008	Junio	65,00	94,36
40	2009	Septiembre	67,50	149,19
41	2010	Febrero	58,00	7,37

Tabla 6 Valores máximos para los 41 años de registro de la Estación Pluviométrica "Desviación Alta el Pedregal"

Fuente: Elaboración propia

Estos datos sirven para trabajar las ecuaciones anteriores y obtener las variables probabilísticas. Las variables calculadas, resuelven la función de Gumbel, obteniendo las precipitaciones diarias máximas posibles para diferentes periodos de retorno, siendo estas precipitaciones las que tienen más probabilidad de ocurrir y con esto prever lo necesario para mitigar o iniciar obras en pro de la población que pueda ser afectada.

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Variable Reducida</i>	<i>Precip. (mm)</i>	<i>Prob. de ocurrencia</i>	<i>Corrección intervalo fijo</i>
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	0,3665	51,4825	0,5000	58,1752
5	1,4999	71,9433	0,8000	81,2959
10	2,2504	85,4901	0,9000	96,6038
25	3,1985	102,6066	0,9600	115,9454
50	3,9019	115,3045	0,9800	130,2941
100	4,6001	127,9087	0,9900	144,5369
500	6,2136	157,0351	0,9980	177,4497

Tabla 7 Valores obtenidos de la función de Gumbel para las Precipitaciones Diarias Máximas Probables

Fuente: Elaboración propia

Los valores que aparecen en la tabla 7, en la tercera columna ($XT'(mm)$), representan las precipitaciones diarias máximas probables que se tendrán para los diferentes periodos de retorno, pero hay que tener en cuenta la corrección por intervalo fijo propuesta por L.L. Weiss, quien después de realizar un estudio, tomando en cuenta los datos obtenidos por miles de estaciones pluviométricas, noto que para duraciones entre 1 y 24 horas, el realizar un incremento de 13% conducía a magnitudes más aproximadas a la realidad (Campos, 1998), por lo que a la tercera columna se le multiplicara por el 1.13 que es la corrección por intervalo fijo; son los valores de la última columna de la tabla 7, los que deberán ser tomados en cuenta, estos últimos, representan las precipitaciones diarias máximas probables para los periodos de retorno especificados en la primera columna.

Para la estación meteorológica Ajusco, la ecuación de intensidad ya con los parámetros calculados queda expresada de la siguiente forma:

$$I = \frac{(241.2465)(T^{0.142236})}{t^{0.61885}}$$

Ecuación 10

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	98,34	64,04	49,83	41,70	36,32	32,45	29,49	27,15	25,25	23,65	22,30	21,13
5	112,03	72,95	56,76	47,50	41,38	36,96	33,60	30,93	28,76	26,94	25,40	24,07
10	123,63	80,51	62,64	52,43	45,66	40,79	37,08	34,14	31,74	29,74	28,03	26,56
25	140,84	91,72	71,36	59,73	52,02	46,47	42,24	38,89	36,16	33,88	31,94	30,26
50	155,44	101,22	78,76	65,91	57,41	51,29	46,62	42,92	39,90	37,39	35,24	33,40
100	171,54	111,71	86,92	72,74	63,36	56,60	51,45	47,37	44,04	41,26	38,90	36,86
500	215,67	140,44	109,28	91,46	79,66	71,16	64,69	59,55	55,37	51,87	48,90	46,34

Tabla 8 Valores de intensidad obtenidos para los diferentes periodos de retorno y duración de precipitación.

Fuente: Elaboración propia

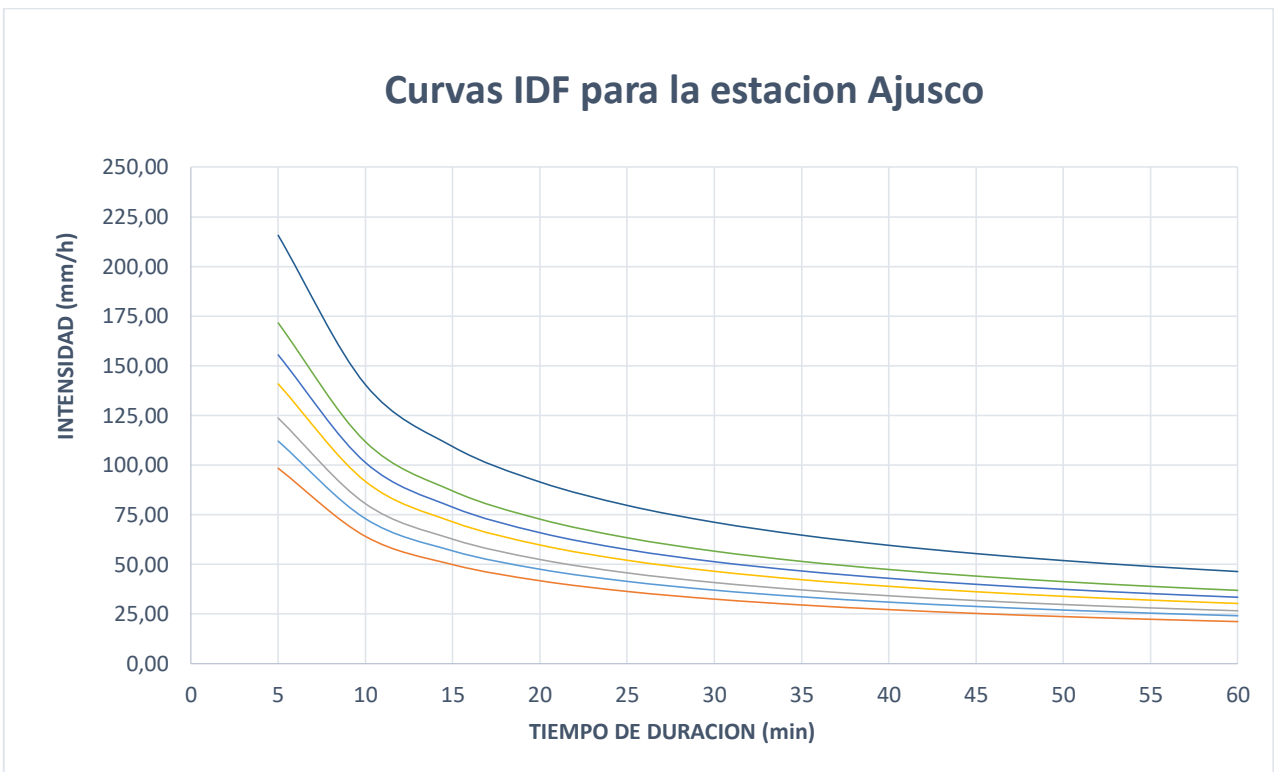


Figura 2. 15 Grafica de las curvas IDF

Fuente: Obtención propia

Nº	Año	Mes Max. Precip.	Precipitación (mm)	
			x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1965	7	46,00	192,97
2	1966	8	43,00	285,32
3	1967	1	61,00	1,23
4	1968	7	48,00	141,40
5	1969	10	57,00	8,36
6	1970	8	68,50	74,11
7	1971	9	45,50	207,11
8	1972	5	96,00	1303,84
9	1973	9	81,00	445,58
10	1974	9	54,00	34,71
11	1975	8	41,50	338,24
12	1976	8	75,00	228,27
13	1977	8	56,50	11,50
14	1978	7	65,00	26,10
15	1979	7	64,50	21,24
16	1980	5	96,00	1303,84
17	1981	6	70,00	102,19
18	1982	8	49,00	118,62
19	1983	7	46,00	192,97
20	1984	8	52,00	62,27
21	1985	9	52,00	62,27
22	1986	6	61,00	1,23
23	1987	7	49,00	118,62

Tabla 9 Valores máximos para los 22 años de registro de la estación pluviométrica "Ajusco"

Fuente: Elaboración propia

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Variable Reducida</i>	<i>Precip. (mm)</i>	<i>Prob. de ocurrencia</i>	<i>Corrección intervalo fijo</i>
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	0,3665	57,3459	0,5000	64,8009
5	1,4999	71,0392	0,8000	80,2743
10	2,2504	80,1053	0,9000	90,5190
25	3,1985	91,5604	0,9600	103,4632
50	3,9019	100,0584	0,9800	113,0660
100	4,6001	108,4937	0,9900	122,5978
500	6,2136	127,9863	0,9980	144,6245

Tabla 10 Valores obtenidos de la función de Gumbel para las Precipitaciones Diarias Máximas Probables

Fuente: Elaboración propia

Con el procedimiento antes descrito, aplicado para la estación meteorológica Ajusco, se obtiene la Tabla de Intensidades y la gráfica de curvas IDF. Los datos de la tabla nueve para la estación Ajusco, serán la base para obtener la Tabla diez con los valores de las Precipitaciones Diarias Máximas Probables, gracias a la ecuación de Gumbel, descrita anteriormente.

Todo este cumulo de datos nos ayuda a construir las grafica de las curvas IDF, conocer la intensidad de las lluvias y las lluvias de corta duración. Este conocimiento permite dimensionar las necesidades que tendrá la construcción de la red de drenaje, para los AHÍ que entren en algún proceso de regulación y puedan calificar para los servicios urbanos. Destaca, la necesidad de más estaciones y una estricta vigilancia de su funcionamiento, para poder obtener datos más completos.

Capítulo 3

Comparativo entre AHI

Casos similares

Los Asentamientos Humanos Irregulares (AHI), surgen de la necesidad creada por la centralización, la vasta mayoría de ellos está conformado por personas que provienen del interior de la República Mexicana. Las historias de todos ellos son similares, vienen buscando mejores oportunidades de desarrollo familiar y personal, sin embargo los altos costos de las rentas en lugares céntricos o cercanos a sus lugares de trabajo los limitan y orillan a buscar vivienda de costo más accesible, inclusive los mismos habitantes de la capital, en su afán de poder iniciar un patrimonio, migran de las diferentes delegaciones de la Ciudad de México, buscando estas oportunidades. En el transcurso de tiempo que comprende el estudio y escritura de esta tesis, se recopila de manera oral y escrita los lugares de donde son originarias; así como la decisión que los llevo a su cambio de residencia.

En el análisis de los datos que son representados de manera gráfica en la Figura 3.1, correspondiente a la procedencia de algunos de los habitantes del Asentamiento Humano Irregular de Tlalmille, se observa que la mayoría de las personas que buscaron obtener de alguna manera un lote en este asentamiento son en su mayoría, provenientes del Distrito Federal, Oaxaca y del Estado de México.

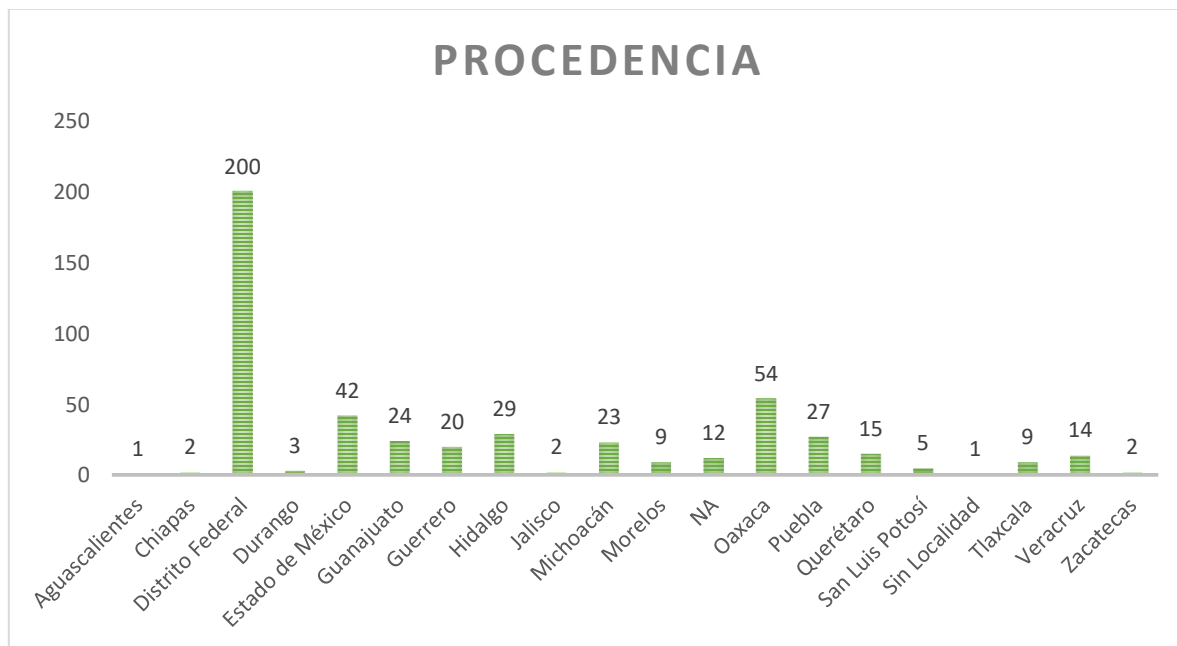


Figura 3. 1 Grafica de Barras representando la procedencia de los dueños o jefes de Familia

Fuente: Elaboración propia, con base en los datos recabados en campo

Las razones que llevaron a las personas de estos estados a vivir en esa zona son muy diferentes pero la mayoría de ellas convergen en una premisa, la obtención de algo propio (Figura 3.2). Esta premisa se basa en la necesidad de dejar a un lado el pago de rentas o con la meta de emplear ese dinero en la creación de un patrimonio.

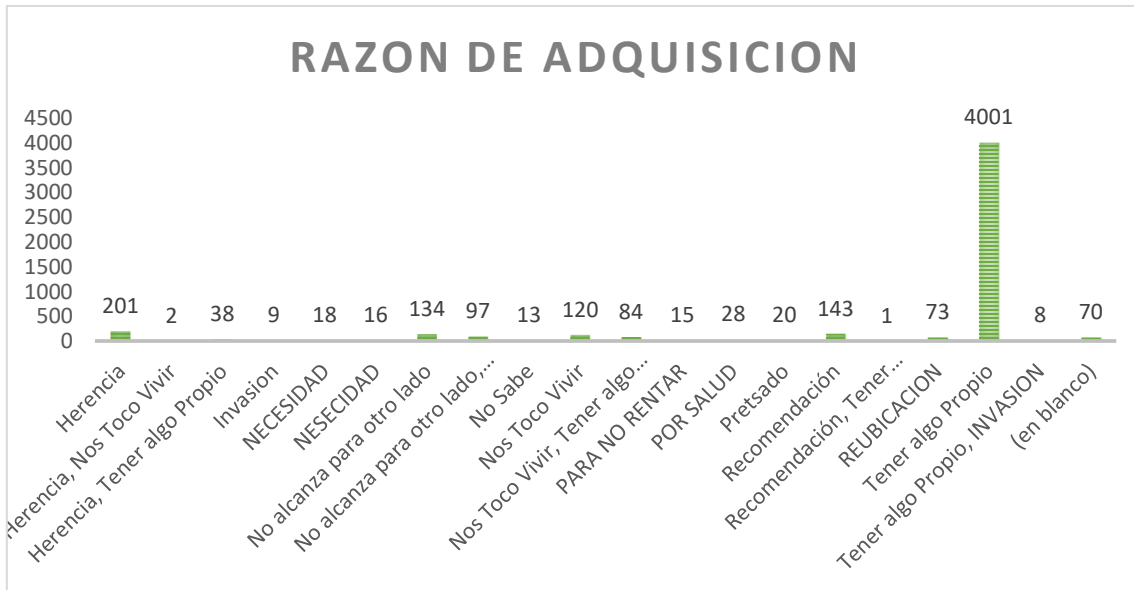


Figura 3. 2 Grafica de barras representando las razones de adquisición para los predios localizados en Tlalmille

Fuente: Elaboración propia, con base en los datos recabados en campo

Los asentamientos tienen inicios similares, alguien vende (en las zonas que no se debe hacer la oferta) y alguien compra (de buena fe, o con conocimiento previo al comprar en zona donde no es permitido construir o es de riesgo). Se establecen y poco a poco comienzan a crecer en número de lotes y niveles de construcción. Es este crecimiento no supervisado, la falta de servicios y las vías de comunicación terrestre precaria, las que caracterizan las vialidades finales de los asentamientos humanos irregulares ya establecidos, catalogados y en proceso de regularización.

Realizar la comparación con el casco urbano ya establecido, donde en teoría su traza es ordenada, es prácticamente nula; sin embargo la ciudad de México se caracteriza por su alta centralización y desmedido crecimiento, engullendo a las poblaciones cercanas a ella, convirtiéndolas en barrios o colonias, dichos barrios y colonias mantienen hasta la fecha, la misma traza de sus caminos de acceso; reconociendo en ellos los asentamientos humanos irregulares que en su mayoría son los que conectan los pueblos o localidades rurales con la gran mancha urbana, presentando deficientes servicios básicos. Los cambios posteriores se van dando para compactar el crecimiento, conformando una extensión de la mancha urbana continua; este proceso se da con la pavimentación de sus caminos que mantienen la misma traza y el cambio de las fachadas de adobe por fachadas de grandes portones a torres de departamentos. Los cambios en la carga vertical de población, aumenta el parque vehicular así como el tráfico, y si estas calles mantienen aquellas características congruentes con una nula planeación, es como se forman las zonas de encharcamientos o inundaciones, que dañan las casas y detienen o entorpecen el tráfico. La Geomática siendo una Ingeniería versátil puede tomarse de otras disciplinas como el urbanismo para describir la historia de ciudades y planear un crecimiento urbano sustentable, evitando crear centros de riqueza con accesos limitados o intransitables.

La planeación de la ciudad de México tiene una larga tradición asociada con las influencias Europeas, traídas por los españoles en el tiempo de la conquista, la influencia del urbanismo francés de finales

del siglo XIX y los diferentes planos reguladores que fueron surgiendo como parte de esta nueva disciplina que es el urbanismo.

A mediados del siglo pasado, Carlos Contreras se propuso alcanzar una nueva forma de organización urbana, siguiendo los conceptos de la funcionalidad, modernidad, sanidad y orden. Con una orientación hacia lo físico espacial sin omitir o reducir la importancia de lo social. Influenciado por la experiencia adquirida en EUA, definió a la Planeación Urbana como un arte, en donde se proyecta y traza una ciudad, entendiendo su forma y patrón de crecimiento. Esa idea llevo a la creación de la figura de Plano Regulador, un instrumento que sin limitarse a las condiciones topográficas del territorio daba prioridad a la relación funcional de las actividades sociales y económicas así como su manifestación espacial (Gutiérrez Chaparro Juan José, 2009)

De ésta forma en los precursores de la planeación urbana tienen una orientación físico – espacial dominante, de tal forma que “...la *Planeación Urbana Mexicana, se redujo al tratamiento específico de los diferentes elementos estructuradores de la ciudad sin considerar que esta es un fenómeno complejo y multidimensional*” (Gutiérrez Chaparro Juan José, 2009)

Teóricamente con este plano regulador, la traza de las ciudades estaría en función de los conceptos mencionados en el párrafo anterior pero, los procesos de industrialización a nivel nacional que son favorecidos sobre el diseño sostenido truncan de sobremanera la Planeación Urbana, llevándola a una debilitación paulatina. La visión del estado estuvo dirigida a promover la inversión para la construcción de infraestructura que favorezca la industrialización, provocando el aumento de la población y de recursos en zonas específicas del territorio. Principalmente se promueve con ello la centralización convirtiéndose en un país urbano, el cual implica “... *serios problemas para, gobernar, administrar, planificar y gestionar la elevada concentración de población.*” (Gutiérrez Chaparro Juan José, 2009, 2009)

Promulgan la Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH) en 1976, marca la institucionalización de la planeación urbana; es producto de la toma de conciencia del problema de urbanización a nivel nacional que se tenía ya. Creando en las siguientes fechas secretaría y promulgando leyes, planes, programas a diferentes niveles (nacionales, estatales, municipales) que se dirigen a la planeación urbana. En las décadas siguientes la política estatal limita la visión integral propuesta, provocando un retroceso, deja de verse como la disciplina que es, y es promovida como una herramienta auxiliar.

Con los anteriores párrafos, se inicia el comparativo de los asentamientos humanos, regulares o irregulares. Partiendo de la premisa de una planeación urbana que favoreció la industrialización, es posible asumir que algunos asentamientos que conforman la ciudad de México fueron resultado de la centralización de recursos y oportunidades laborales, donde las personas que se establecieron buscaban una cercanía a sus lugares de trabajo, muchos de estos asentamientos se localizaron sin ninguna regularización, proyección o planeación. Mientras pasan los años y la ciudad va creciendo, estos asentamientos se fueron haciendo parte de la Ciudad de México.

La necesidad de las personas que vienen a los centros urbanos buscando mejores oportunidades de desarrollo da paso al oportunismo, aprovechando dicha necesidad, se venden de manera ilegal e indiscriminada terrenos en Áreas Naturales Protegidas (ANP), en donde está prohibida la construcción, dejando a estas personas en la incertidumbre y la marginación. A medida que la ciudad ha ido creciendo y los diferentes estratos de gobierno se hacen conscientes de la depredación que

tiene la expansión del concreto, sobre las áreas naturales, entonces se han ido tratando de regular, limitar su crecimiento e impedir estos nuevos asentamientos.

La mayoría de ellos no cuentan con las regulaciones mínimas para establecerse así como los estudios de riesgo necesarios para evitar posteriores tragedias o daños en las estructuras y sin traza para sus vialidades, las cuales siguen el relieve del terreno circundante, para poder anexarse a una vía de comunicación ya establecida.

Las vías que conectan a estos asentamientos están labradas con las manos y esfuerzo de quienes deciden habitar allí, pero sin la técnica o ingeniería necesaria. La ausencia de servicios como el drenaje hace susceptibles sus vialidades a padecer de inundaciones o en el menor de los casos encharcamientos extensos. Incluso con la participación del gobierno, que provee algunas medidas de mitigación, como pozos de absorción y sistemas de drenaje, el problema no deja de existir.

Los recorridos por los diferentes AHI, ampliaron el panorama de la problemática ya existente en Las Torres y Pirindos, calles pertenecientes al AHI de Diamante Tepeximilpa. La morfología del terreno donde se ha establecido esta comunidad y la nula planeación del mismo, generan características específicas en el perfil de las calles que contribuyen de manera positiva a su encharcamiento.

En las calles de las Torres y Pirindos se tomó la decisión de hacer un levantamiento topográfico con estación total para obtener una representación digital del terreno, esta decisión fue con base en la facilidad de hacerlo, debido a que la afluencia de tráfico no es mucha por esas dos calles y la comunidad ya estaba avisada de que se realizarían los trabajos. Pero las calles de Cerro de las Batallas en el AHI de Tlalmille y Tekal en la Picacho-Ajusco son calles donde el tránsito vehicular es más fluido y no se puede realizar el levantamiento de manera segura, por esta razón se opta por usar la Percepción Remota y la tecnología LiDAR.

En la imagen Pleiades que se tiene de la delegación Tlalpan, se localizaron los dos asentamientos, usando la opción de crear un nuevo shapefile de ArcGIS, se delimita cada uno de ellos por medio de un polígono, se ingresa cada polígono en otro software para realizar el recorte sobre el cúmulo de puntos LiDAR. Estos cúmulos de puntos se ingresan nuevamente en un tercer software, en donde se modelan las características del terreno. La primera calle de la que se hará mención es la de Cerro de las Batallas.

La calle de Cerro de las Batallas en el AHI de Tlalmille es, por su perfil, otra de las calles propensas a sufrir de encharcamientos de importancia. Presenta características similares a las calles de Las Torres y Pirindos en el AHI de Diamante Tepeximilpa pero estas son más marcadas.

La porción Sur – Este y Noreste de Tlalmille, representadas en tonos rojos y naranjas en Figura 3.3, así por la división de colores hecha por el software, es aquella que contiene las cotas de mayor elevación. De manera lógica asumiríamos que los drenajes naturales de la zona y la disposición topográfica de las calles, harían correr el agua en dirección Este – Oeste, pero este AHI está limitado en su extensión, por un muro de piedra volcánica y viviendas, de manera tal que actúa como una frontera artificial, limitando el aporte de agua.



Figura 3. 3 Vista aérea del AHI de Tlalmille



Figura 3. 4 Acercamiento a la sección de la calle Cerros de las Batallas (en amarillo esta la sección con problemas de encharcamiento, en naranja los accesos posibles hacia este AHI)

Fuente: Google Earth Pro

Las vistas de la Figura 3.5 y 3.6, hacen evidente la depresión existente en el terreno. EL tramo más afectado es el que delimitan las calles de Cerro San Nicolás y Cerro San Pedro.

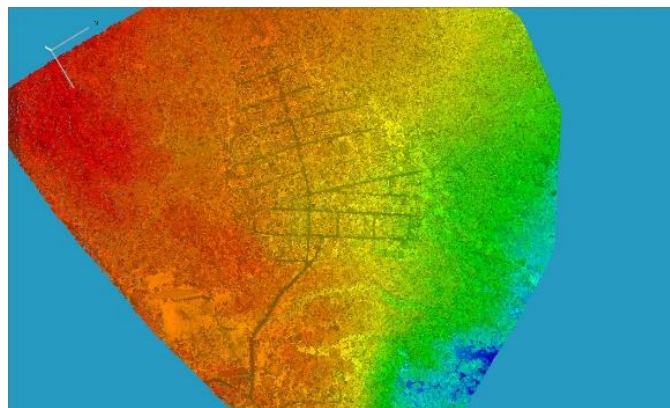


Figura 3. 5 Polígono del Cumulo de Puntos perteneciente al AHI de Tlalmille

Fuente: Elaboración propia con datos LiDAR.

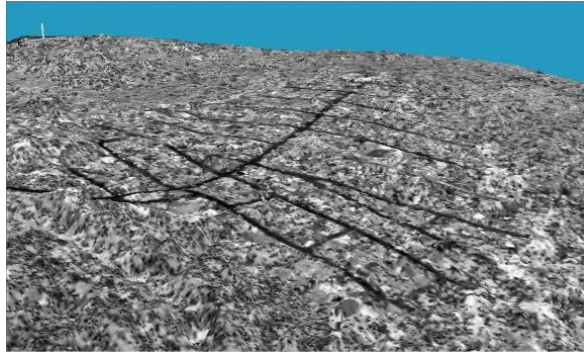


Figura 3. 6 Imagen orto, derivado del modelado en LiDAR

Fuente: Elaboración propia con datos LiDAR.

Para poder ver esta afectación de manera gráfica, se procesan los datos obtenidos con las imágenes del LiDAR. Se busca encontrar la dirección de los flujos así como una representación gráfica de los mismos para una mayor comprensión.

Los flujos están en función de su dirección, la cual está sujeta al capricho de la orografía local, hace que la representación de los mismos por escala de colores sean visibles e interpretables. (Figura 3.7) Los colores nos muestran que las partes altas color naranja y amarillo el agua baja hacia los lugares con menor elevación de color verde y azul, pero en Tlalmille se presenta la sección de estos causes naturales, por la construcción de las viviendas y de un muro que lo limita, restringiendo el flujo, este evento lo hace solamente en la localidad. (Mapa 3.1)

Conforme la cromática cambia de colores cálidos a colores fríos, podemos observar que las calles que aportan más agua son aquellas del lado sur del asentamiento y son las que conectan con Cerro de las Batallas. En el perfil de la Figura 3.7 se observa el cambio de pendiente y la cuneta en donde se estanca el agua por la saturación del sistema de desfogue. Aunque no toda el agua llega a esta sección, pues también las calles del lado norte de Cerro de las Batallas ayudan a drenar esta vía, en un evento pluvial intenso y de duración prolongada, puede no ser suficiente con la medida de mitigación que actualmente tiene.

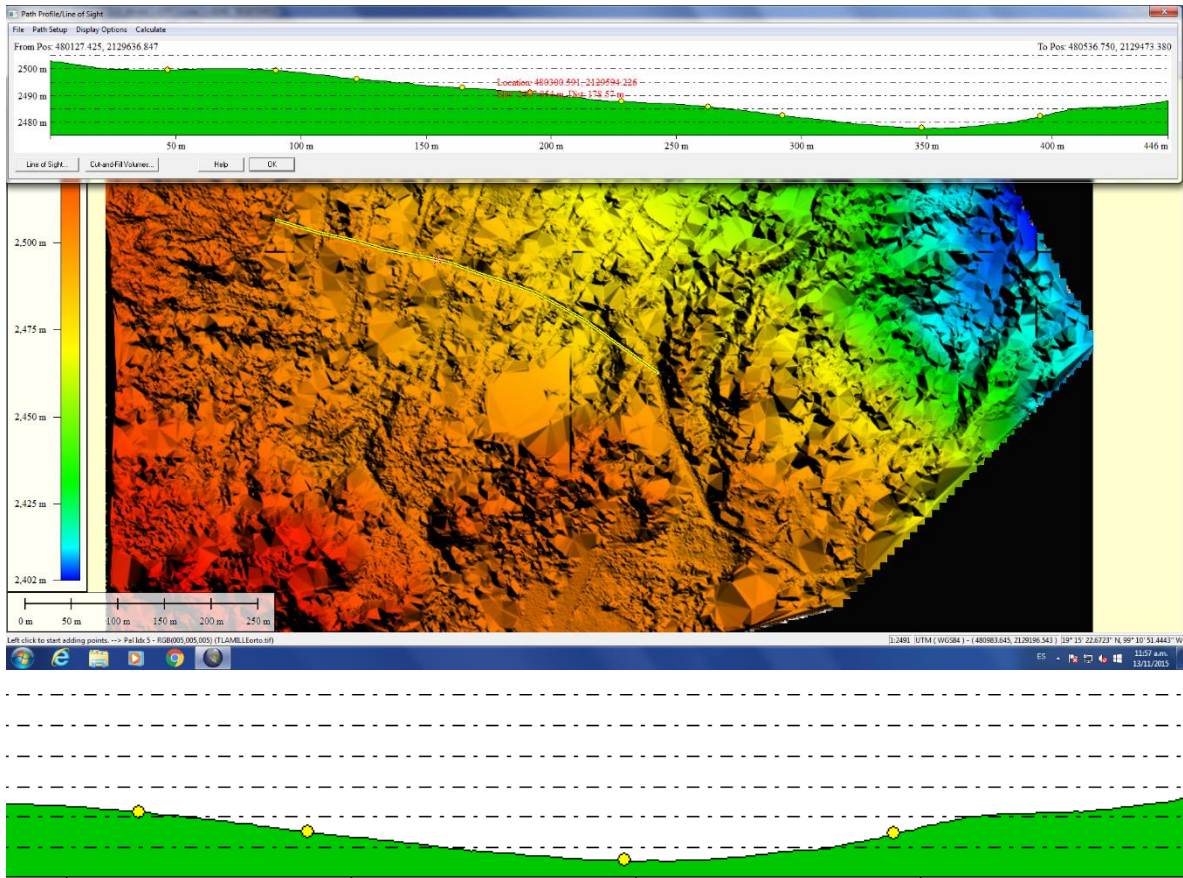
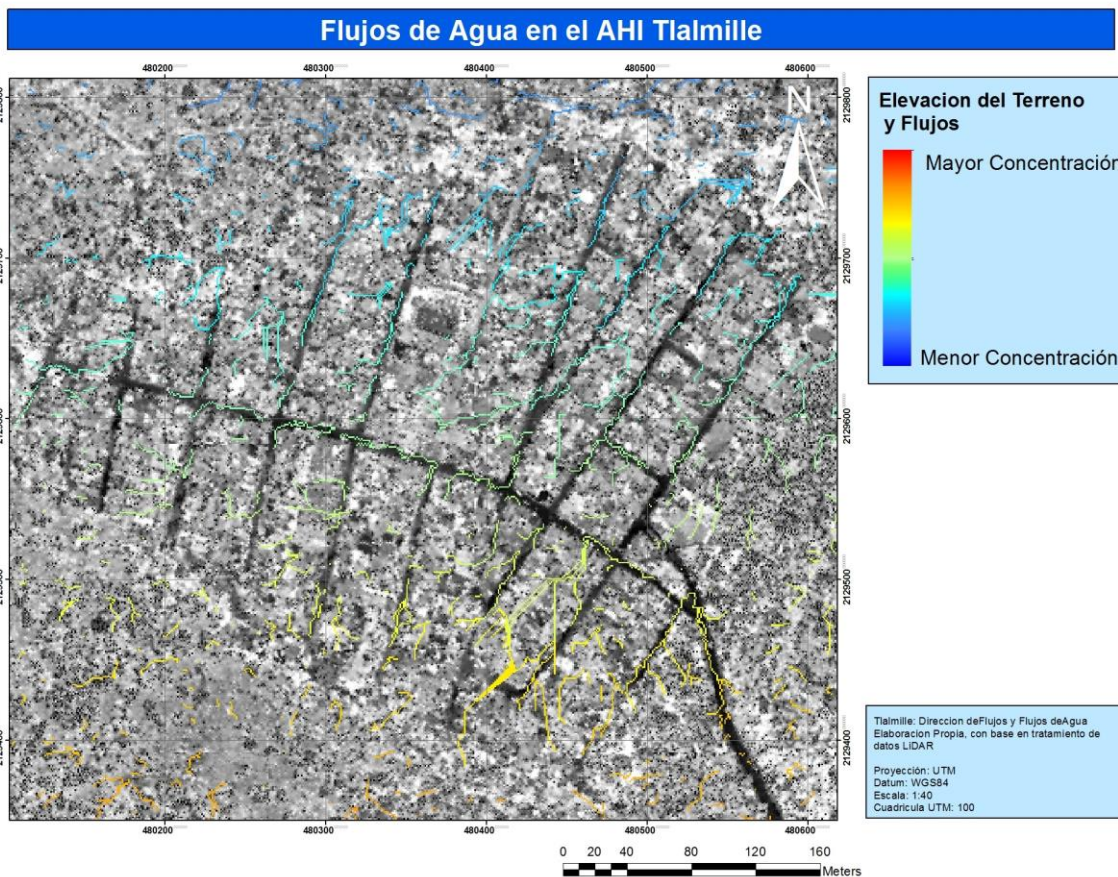


Figura 3. 7 Perfil de la Calle de Cerro de las Batallas y acercamiento en la sección delimitada por las calles Cerro San Nicolas y Cerro San Pedro

Fuente: Elaboración propia con datos LiDAR.



Mapa 3. 1 Flujos de agua en el AHI de Tlalmille

Fuente: Elaboración Propia

Las autoridades han tomado medidas acordes al fenómeno y aunque los encharcamientos han sido errores, esto no exenta a las autoridades de planear alguna medida adicional, pues este tipo de eventos son de naturaleza multifactorial, involucrando el factor humano y la sedimentación, que pueda obstruir el alcantarillado.

Calle Tekal

La calle de Tekal al igual que la calle Cerro de Las Batallas, es por sus características topográficas, otra de las vialidades propensas a sufrir de encharcamientos importantes, que afectan de manera directa a la población o al tránsito de automotores.

Esta calle no se encuentra dentro de ningún AHI, es más está localizada dentro del casco urbano de Tlalpan y sin embargo también es propensa a sufrir este tipo de fenómenos. Posiblemente lo que habría que destacar en esta zona, es la resiliencia de los colonos y que al estar dentro de la zona urbana de la Delegación, es posible que cuenten con servicios de alcantarillado de manera formal y profesionalmente instalada, aunada a los servicios de desazolve que la delegación pueda brindar.

En la vista aérea de la Figura 3.8, se puede ver la calle de Tekal, sobre la cual se ha dibujado una línea amarilla que cumple la función de señalar la calle y uno de los dos sentido en los cuales se

puede transitar. Las razones así como el procedimiento por el cual se obtuvo de esta manera el levantamiento de esta calle son equiparables a las aplicadas en el caso de la calle Cerro de las Batallas.

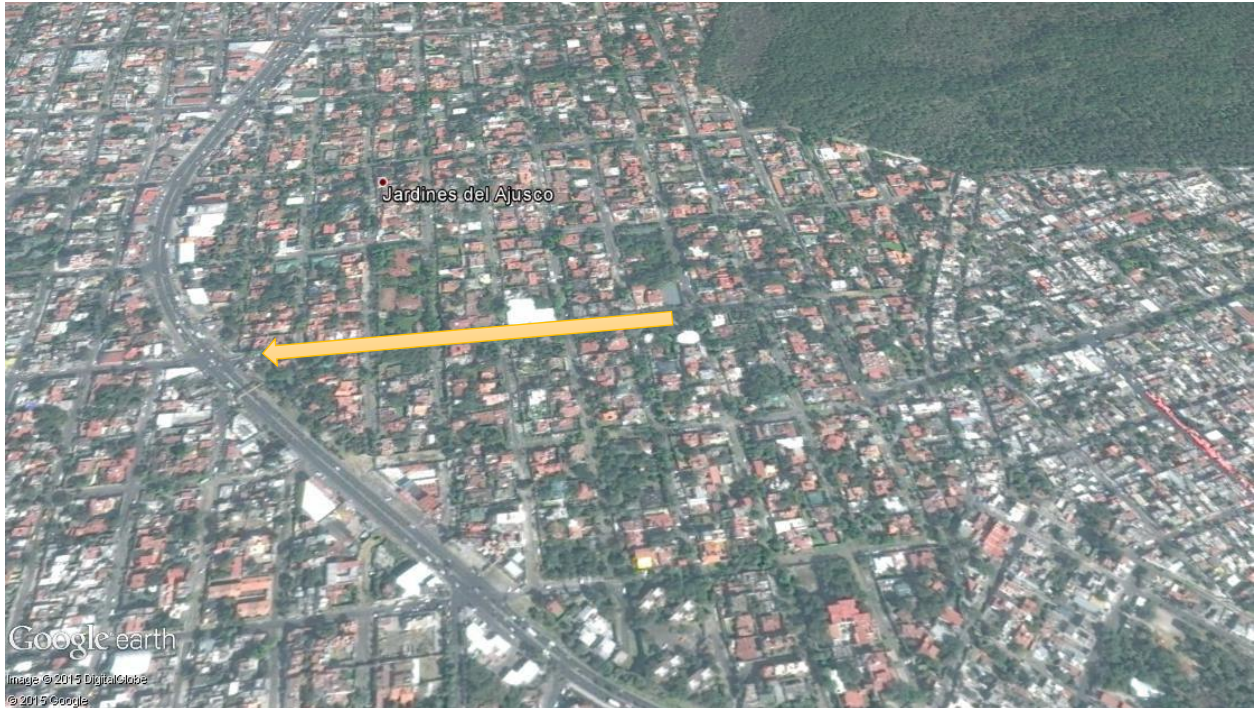


Figura 3. 8 Vista aérea de Calle Tekal

Fuente: Google Earth Pro

Usando un recorte del LiDAR de Tlalpan para seccionar esta zona, se lleva a cabo el modelado en software, para obtener de manera digital la representación del terreno, de esta forma podremos conocer el perfil de la calle, aunque por recorridos previos ya se conoce como es, para fines de análisis se harán los procedimientos correspondientes (Figura 3.9).

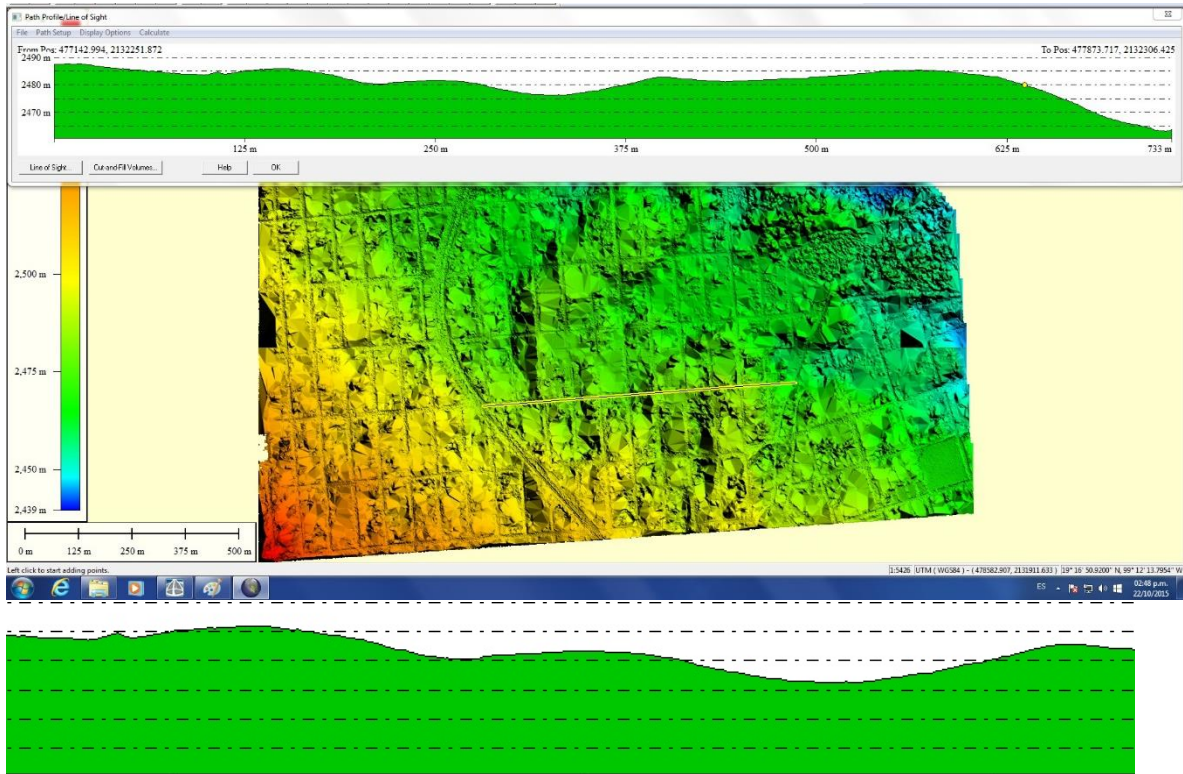


Figura 3. 9 Perfil de la Calle Tekal y acercamiento a la zona de interes.

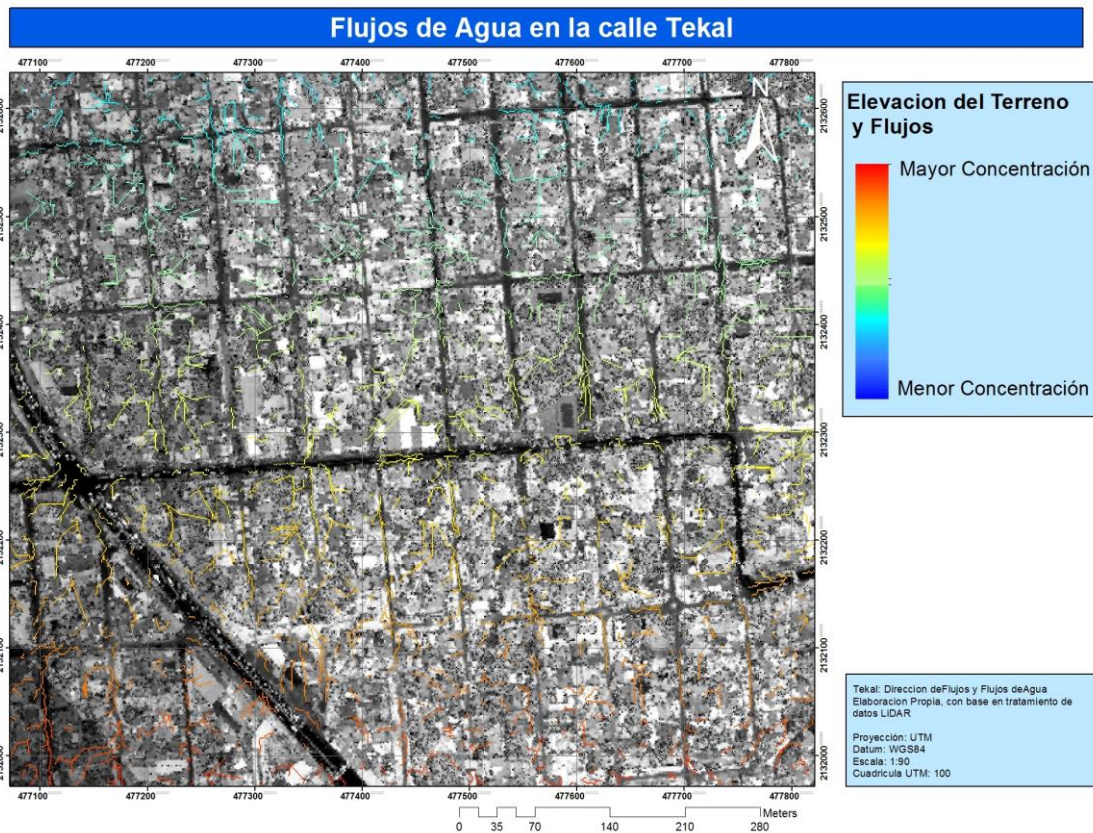
Fuente: Elaboración propia con datos LiDAR.

La sección de la zona de interés, como se muestra en la parte inferior de la Figura 3.9, es en donde la ocurrencia de los fenómenos de encharcamiento toma lugar, esto debido a las características similares que tiene con las cunetas de las calles Cerro de las Batallas y Calle Las Torres, pero en esta ocasión no es una sola cuneta. En el perfil se puede apreciar la formación de 4 cunetas, siendo la tercera la de mayor profundidad. Esta tercera cuneta podría pensarse que es la que causa mayor problema, pero en realidad la problemática se da por el conjunto de las características de cada una de ellas. En las imágenes siguientes (3.10 y 3.11) y el Mapa 3.2, se puede apreciar el desnivel de la calle y como se van formando estas zonas de captación.



Figura 3. 10 Desnivel de Calle Tekal Figura 3. 11 Desnivel de Calle Tekal

Fuente: Elaboración propia en recorrido de campo



Mapa 3. 2 Desniveles de Calle Tekal

Fuente: Elaboración Propia

Las calles del lado sur de Tekal, aportan agua pero en esta ocasión y a diferencia del sistema cerrado que es Tlalmille, las calles anteriores a estas también brindan su parte al afluente urbano superficial que se forma, y aunque cerradas para el tránsito vehicular, el agua sabe abrirse paso hasta la calle de Tekal donde se deposita en esas cunetas. Cabe mencionar que esta problemática ya es conocida por la gente y por el gobierno, el cual ha tomado las medidas de mitigación necesarias para evitar encharcamientos, pero de nuevo, al ser un fenómeno multifactorial que involucra el arrastre de materiales y el factor humano, pueden provocar que estas medidas no respondan como deben al no proporcionar el cuidado y mantenimiento necesario de limpieza. (Figuras 3.12 y 3.13)



Figura 3. 12 y Figura 3. 13 Calle de Tekal, se pueden observar los desniveles y las alcantarillas usadas para drenar el agua que corre por esa vialidad, pero no son suficientes

Fuente: Elaboración Propia

La importancia de la afluencia vehicular entorpecida o la inconformidad de los habitantes hacen que la calle de Tekal, aparezca de manera recurrente en los portales noticiosos locales hablando de los encharcamientos de importancia que en ella se generan. En casos extraordinarios como los de la calle Izamal en su tramo delimitado por el cruce de las calles Halache y Tamizin donde su topografía fue descrita por la reportera Claudia Bolaños del portal del periódico El Universal, como en forma de “cuneta” (Claudia Bolaños, 2011), lo cual actúa en pro de la retención del líquido, el cual llegó a una altura de 2.2 m causando daños en viviendas y automóviles, propiedad de los habitantes de esa calle, aun así los encharcamientos de la calle de Cerro de las Batallas en el tramo comprendido por Cerro San Nicolás y Cerro San Pedro pertenecientes al Asentamiento Humano Irregular de Tlalmille no han podido colocarse en los medios digitales o impresos para concientizar a todos niveles, que el uso de las ingenierías y de la planeación deben ser disciplinas de vanguardia al momento de establecer o expandir los centros urbanos.

Caso Especial de AHI 12 de Diciembre

Esta calle localizada en las cercanías de los primeros kilómetros de la carretera México-Cuernavaca también puede ser sometida al análisis. Con la particularidad de no presentar las características de las calles de Las Torres, Pirindos, Cerro de las Batallas y Tekal, 12 de Diciembre es una calle con una pendiente pronunciada (Figura 3.14), la cual puede dirigir a las estructuras del final de ella, agua y sedimentos de diferentes tamaños.

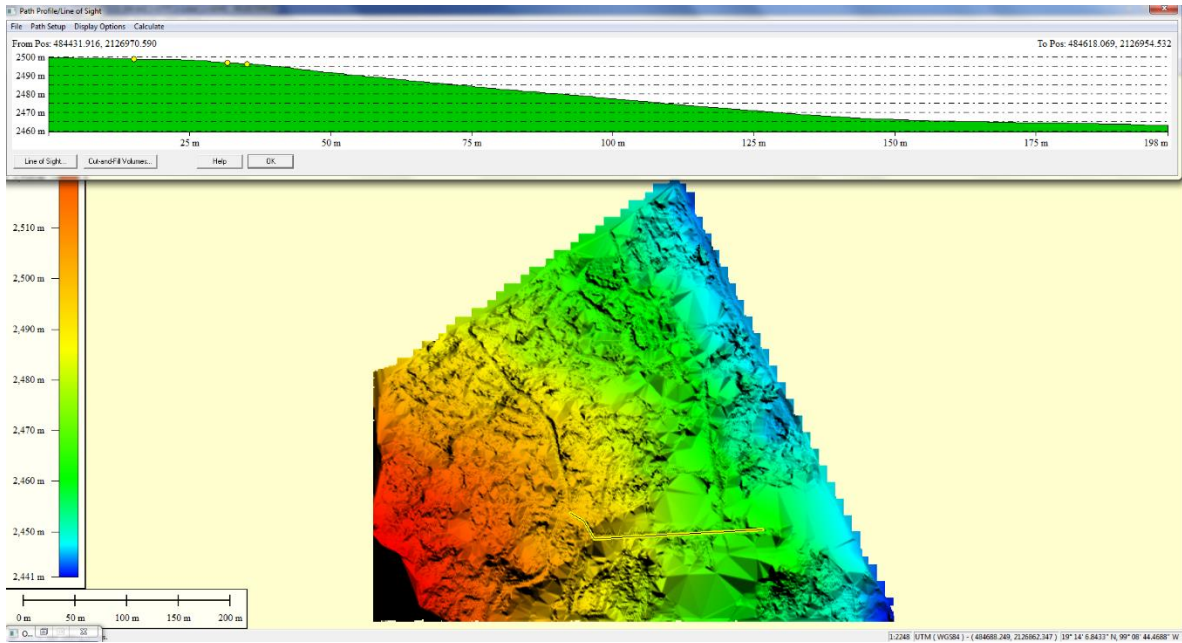


Figura 3. 14 Perfil de la Calle 12 de Diciembre

Fuente: Elaboración propia con datos LiDAR

Las primeras visitas a esta comunidad, no despertaron sospecha, en cuanto a la necesidad de obras hidráulicas y en los recorridos que se llevaron a cabo no se encontró indicio alguno de la construcción de ellas. Visitas posteriores revelaron, la construcción de un registro el cual se conecta a una tubería de gran diámetro. Los vecinos de lo que podríamos llamar la prolongación de la calle 12 de Diciembre, dan testimonio oral, de la necesidad de esta obra (Figura 3.15 y 3.16), debido a la afectación en sus viviendas, algunas de ellas por debajo del cauce dictado por la calle.



Figura 3. 15 y Figura 3. 16 Obra hidráulica reciente en la zona

Fuente: Obtención Propia

Para fines de estos comparativos realizados, se ocuparon los mismos valores del capítulo 2 concerniente a las tablas de las Estaciones Pluviométricas “Desviación Alta al Pedregal” y “Ajusco” para conocer los valores de las precipitaciones máximas probables, para la calle de Tekal es necesario prestar atención, pues esta calle se encuentra alejada de las dos estaciones y los valores reales o aproximados de las precipitaciones que ocurran estarán lejos de lo que está plasmado en las tablas.

Capítulo 4

Metodología

Introducción

Inicialmente se consideró el uso de la topografía para obtener y analizar los perfiles correspondientes a las calles de las diferentes zonas de estudio, pero esto resulta en un número indeterminado de visitas a diferentes zonas de la delegación Tlalpan, lo cual incrementa los tiempos, pues la obtención de resultados es directamente proporcional al trabajo realizado añadiendo la exposición del equipo topográfico debido a la inseguridad de algunas zonas. Esta última razón nos lleva a cambiar la manera en que se realizaran los estudios, por un método digital.

EL método de obtención digital, es una técnica que requiere de acceso a imágenes de alta resolución y productos de sensores LIDAR que pueden resultar difíciles de conseguir o costosos por lo que se agradece de antemano al Instituto de Geografía y a la Dra. Clemencia Santos, el acceso a estos insumos y el equipo de computación necesario para su realización. La manipulación digital de las zonas de estudio ayudan al usuario a analizar la información de manera más libre, aprovechando diferentes programas que hacen más fácil la visualización de los modelos digitales de terreno, pues los sensores usados ya no limitan los resultados a los puntos obtenidos por quien hace el levantamiento, el cumulo y densidad de los puntos es superior. El uso de esta tecnología no solo se limita a la obtención de los perfiles, también propone usar a favor de las poblaciones vulnerables la tecnología del software, para observar de manera digital la acumulación de los flujos de agua aportados por las diferentes vialidades hacia las zonas de mayor afectación, previamente reconocidas.

Objetivos de la Metodología Topográfica

- Obtener y analizar los perfiles de las calles susceptibles a encharcamientos o inundaciones.
- Obtener la altura aproximada del encharcamiento o inundación
- Observar si en el sitio existen obras de gobierno o particulares que mitiguen el encharcamiento o inundación en caso de existir.

Objetivos de la Metodología Digital

- Obtener las acumulaciones de flujo para el AHÍ en estudio
- Obtener y analizar los perfiles de las calles susceptibles a encharcamientos o inundaciones.
- Obtener la altura aproximada del encharcamiento o inundación
- Observar si en el sitio existen obras de gobierno o particulares que mitiguen el encharcamiento o inundación en caso de existir.

Metodología Topográfica

Con el apoyo de los insumos y aparatos de medición proporcionados por el Instituto de Geografía y el Gabinete de Topografía de la Facultad perteneciente a la División de Ingeniería Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, se recaba de manera presencial, un levantamiento topográfico. El levantamiento se llevó a cabo usando coordenadas proporcionadas por un GPS Sokkia GRX-1 de alta precisión para obtener dos coordenadas una de inicio y otra de cotejo que nos ayude a corroborar y hacer las correcciones necesarias si se necesitan y una estación total Sokkia SET 650RX.

El levantamiento se realiza en el sentido de la afluencia de tráfico de la calle (Noroeste) Las Torres y se continúa hasta la calle de Pirindos. Con las coordenadas obtenidas se importan a una tabla de Excel para su posterior uso en AutoCAD, donde se obtendrá un modelo digital de terreno (MDT) que nos dé una representación de las calles y con CivilCAD un perfil (Ver Perfil 2.1 en el capítulo 2), el cual dividiremos en secciones para cada calle. Para la calle de Las Torres se usara una altura media sobre el nivel del mar de 2453.093 m y para Pirindos una altura media sobre el nivel del mar de 24446.777 m, correspondiente a la altura del punto de inicio de la cuneta, esto estimado por quien hizo el levantamiento.

Posteriormente se localiza el punto más bajo de la cuneta y se realiza una resta a cada uno de estos puntos iniciales. Para la calle Las Torres la diferencia de cotas es de 1.273 m y para Pirindos 1.436m.

Metodología Digital

En la presencia de las limitantes derivadas del método anterior, se opta por un manejo digital de las zonas de estudio. Los insumos utilizados se listan a continuación:

- Imagen de 16 bytes Pleiades
- Producto LiDAR de la Delegación Tlalpan
- Software especializado para realizar diferentes procesos: ArcGIS, Global Mapper y ENVI LiDAR

Inicialmente con ArcGIS se despliega en la ventana de visualización la imagen Pleiades para localizar la zona de interés, como capa inferior se usa un shape que nos muestre las microcuencas de la delegación Tlalpan y los aportes. La importancia de reconocer la zona y reconocer los flujos que hacen el aporte a ellas, es poder delimitar un polígono que encierre en él, las calles afectadas así como la zona de estudio y los afluentes que aporten agua al lugar, de manera que sean congruentes y el software no agregue afluentes ajenos a la calle de estudio.

Este polígono obtenido con las características antes mencionadas, servirá como polígono de corte, haciendo una selección de un cumulo o nube de puntos tridimensional, que mantiene en él toda la información procedente de un archivo LiDAR (.las). Global Mapper al ser un programa versátil en cuanto a los formatos que soporta su plataforma, es el siguiente software en la lista que se ocupa para los siguientes procesos. Sin embargo, si se maneja toda la información procedente del archivo LiDAR correspondiente a la totalidad de la superficie perteneciente a la delegación Tlalpan, el tiempo de procesamiento llevaría horas y el entorpecimiento de la máquina, por lo que es recomendable hacer el corte y manejar de manera aislada cada zona de estudio. En Global Mapper se abren los archivos .las y .shp, de LiDAR y de los polígonos creados, respectivamente. Con la herramienta "digitalize", se seleccionan los polígonos, sirviendo como molde para el software, extrayendo el cúmulo de puntos seleccionado.

El archivo guardado con la extensión .ini, será usado ahora en un tercer software especializado para el manejo de estos cúmulos de puntos. ENVI LIDAR funciona con las extensiones .ini. Dejando al usuario manipular una representación tridimensional del terreno, sin ser un MDT. El modelo da una idea aproximada de lo que se encuentra en tierra, arboles, calles y edificios son fácilmente reconocibles.

EL MDT que se obtiene partiendo de un archivo .ini, es completamente diferente a un MDT que podamos descargar de páginas federales como INEGI. EL MDT producto del proceso tamiza y distribuye de manera marcada las diferencias entre las manzanas y pavimento (Figura 4.1), lo que hace resaltar las vialidades de los asentamientos sujetos a este estudio. El que las vialidades y el terreno sean fácilmente discernibles toma su importancia de los procesos finales.

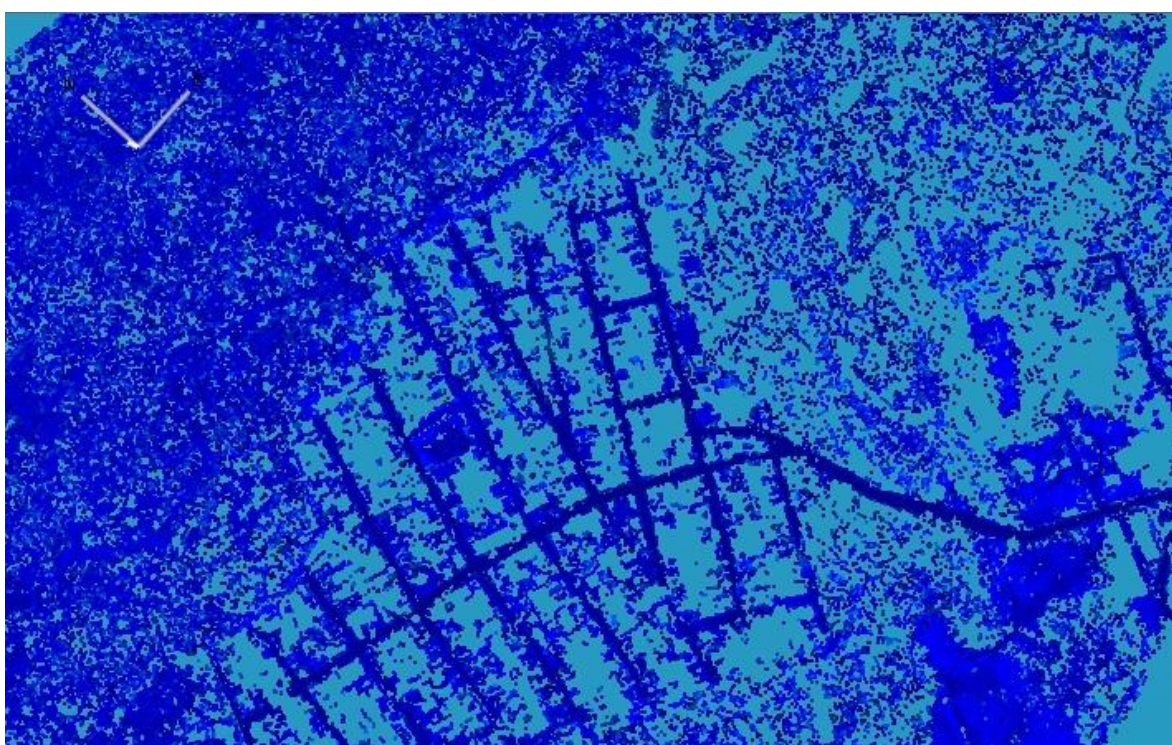


Figura 4. 1 Postproceso de ENVI LiDAR, donde se pueden discernir las manzanas de las vialidades y los patios no techados de las casas

Fuente: Elaboración propia

Los procesos finales se harán completamente con este último MDT. Las herramientas, Hydrology perteneciente al ArcToolbox de ArcGIS.

Es frecuente que al hacer un estudio digitalizado de algunas cuencas, estas presentan sumideros o elevaciones inherentes a su geografía, pero a nivel digital estos sumideros representan errores por la resolución de los datos recabados o por redondeos de elevaciones. Usando la herramienta "Fill" se rellenan de manera digital los sumideros para que se representen de manera correcta las cuencas, si este paso se omite, alguna red de drenaje puede parecer discontinua. Un estudio del USGS (Servicio Geológico de Estados Unidos) para MDT con resolución a 30 m, demuestra que para una cuadrícula de 1000 * 1000 pueden existir de 9000 a 47000 sumideros (Tarboton, 1991).

Tomando la superficie obtenida después del proceso “Fill” se utiliza la herramienta de “FlowDirection”. La dirección de los flujos es determinada por la dirección de descenso de mayor pendiente o la caída máxima (Greenlee, 1987), esto desde el centro de cada celda hacia ocho posibles caminos para las celdas vecinas, siguiendo el movimiento del flujo o del agua hacia la celda con mayor pendiente (Macrae & Iannone, 2016).

El software determina la dirección tomando bloques de 3 X 3 píxeles, dicha operación calcula la diferencia entre el píxel central y cada uno de los ocho píxeles vecinos. (Figura 4.2) Los que tengan un valor similar en la pendiente se les asigna un valor cero, mientras que a los píxeles con pendientes diferentes se les asigna un número basado en el valor obtenido, el valor dado a las celdas tras este proceso es inversamente proporcional al valor de la pendiente. El software tomara esta diferencia y asignara una dirección (Van Westen et al., 2013).

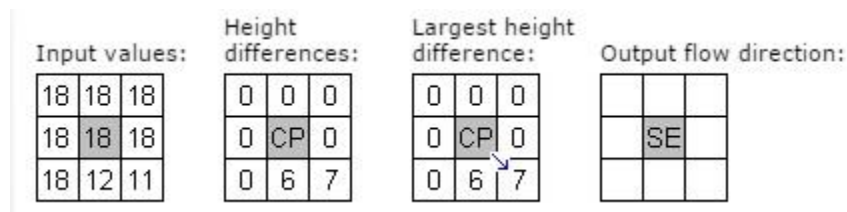


Figura 4. 2 Representación gráfica del algoritmo de la herramienta Flow Direction

Fuente: http://spatial-analyst.net/ILWIS/htm/ilwisapp/flow_direction_algorithm.htm

“Flow Accumulation” ocupara el raster obtenido del proceso anterior. Calculando el valor para cada píxel usando una función recursiva, la ecuación arroja como resultado el valor para cada píxel de salida, devolviéndolo a la función, hasta que no existan píxeles vecinos que fluyan hacia él. Asignando a cada píxel con un número, número que representa los píxeles contribuyentes al drenaje natural o la vialidad para este caso. Los valores de las acumulaciones de flujos son directamente proporcionales a las dimensiones del mismo (Van Westen et al., 2013). El resultado será una representación gráfica de los flujos obtenidos por esta función recursiva. (Figura 4.3)

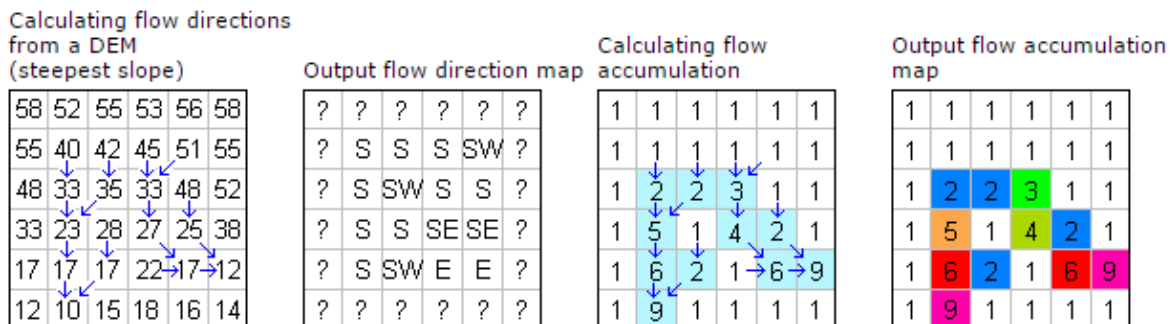


Figura 4. 3 Representación gráfica del algoritmo de la herramienta “Flow Accumulation”

Fuente: http://spatial-analyst.net/ILWIS/htm/ilwisapp/flow_accumulation_functionality.htm

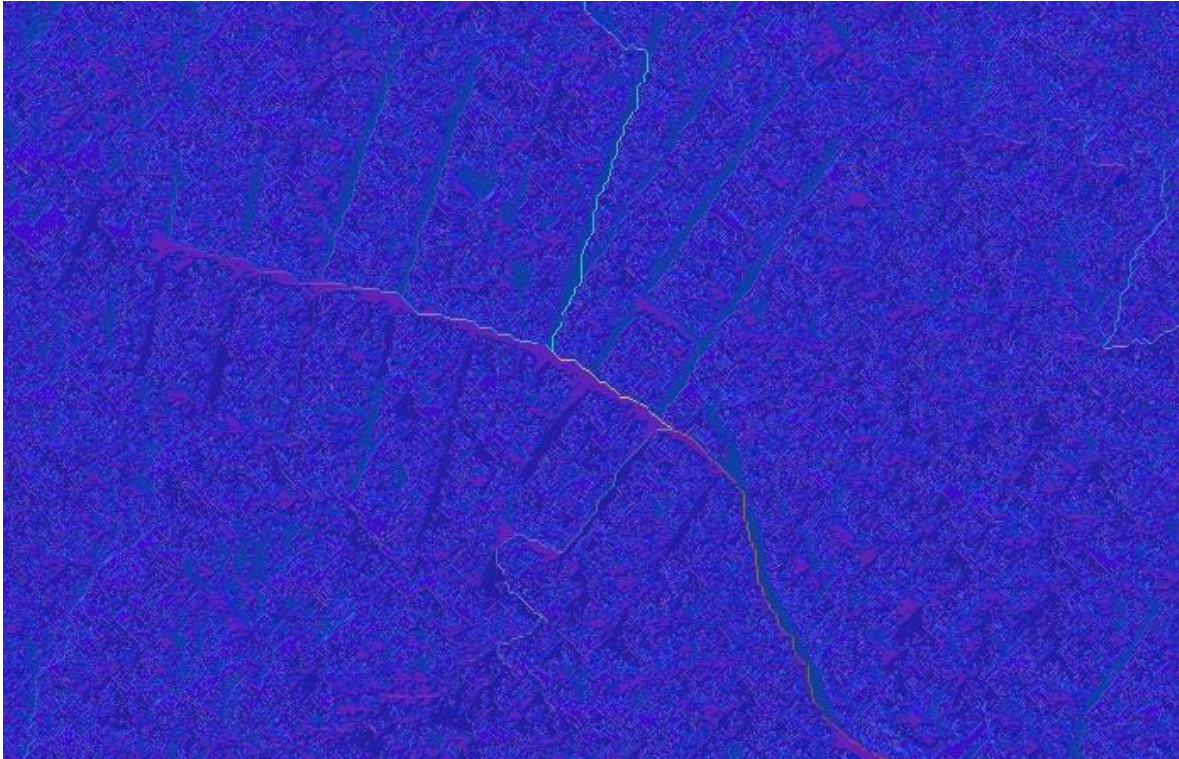


Figura 4. 4 Overlay de dos diferentes capas. De base, recorte del MDT LiDAR, sobre esta, la capa correspondiente a los flujos obtenidos.

Fuente: Elaboración propia

Esta representación de los flujos puede ser modificada usando un condicionante con el “Raster Calculator”. Modificando con este condicionante, la cantidad de celdas vecinas que vierten hacia una misma, podremos aumentar o disminuir la cantidad de flujos obtenidos. En el “Raster Calculator” ingresaremos la siguiente ecuación:

$$("FlowAccumulation" > x, 1)$$

Donde:

- "*FlowAccumulation*" representa el nombre del raster que contiene la información correspondiente a la acumulación de flujos.
- x representa la cantidad de pixeles vecinos que vierten hacia un mismo punto. Los flujos que se obtendrán están en función de este parámetro. A menor valor asignado, mayor cantidad de acumulación de flujos.

Al aplicar la ecuación, se obtienen resultados diferentes representaciones graficas de la acumulación de flujos encontrados en la zona. Consideremos que a menor valor asignado, mayor cantidad de acumulación de flujos obtenida, pero esta acción puede considerar acumulaciones dentro de las manzanas, siendo acumulaciones de flujo pequeñas, poco representativas o erróneas, debido a que el modelo de elevaciones no toma en cuenta las edificaciones y sus alturas pudiendo considerar acumulaciones dentro de los límites de las manzanas.

La información obtenida, hace que enfoquemos nuestra atención en las vialidades que presentan una mayor acumulación de flujos. Una vez localizadas las calles con una posible afectación, se obtienen los perfiles, reciclando el MDT en un software diferente.

Haciendo un “Overlay” o montaje multicapas en Global Mapper, utilizando como base aquella con formato ERDAS IMAGINE (.img), un formato multicapas georreferenciadas, conteniendo la información de las elevaciones, se superpondrá una ortoimagen igualmente generada al momento de procesar la información en ENVI LiDAR. La finalidad de este paso es utilizar la ortoimagen como guía. En la “Tool Toolbar” (Barra de Herramientas) de Global Mapper se encuentra la opción “3D Path Profile”. Empleando esta última y sirviéndonos de la ortoimagen como guía, se dibuja una línea sobre la vialidad con mayor acumulación de flujo encontrando finalmente su perfil. Para Tlalmille, la vialidad con mayor acumulación de flujo es la calle Cerro de las Batallas siendo la Figura 4.4 el perfil obtenido posterior a este proceso.

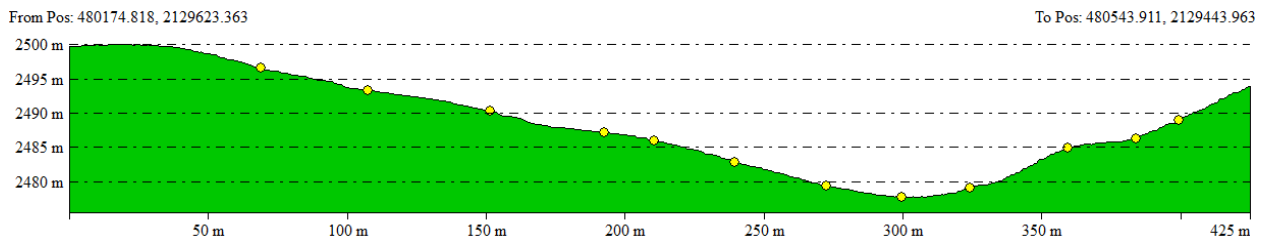


Figura 4. 5 Perfil de la calle Cerro de las Batallas, tramo comprendido entre la calle Cerro de Pino y Zacapaxtla

Fuente: Elaboración propia

La altura aproximada del encharcamiento o de la inundación, está en función de la sección que se escoja. La mayoría de las veces la sección a escoger es fácilmente identificable, debido a la configuración del terreno y la traza de las calles. Muchas de las secciones en conflicto presentan una forma cóncava, con tendencia a la acumulación de agua debido a su forma, la impermeabilización de los suelos con asfaltos y la falta de obras públicas de mitigación o conexión al drenaje.

La altura aproximada del encharcamiento o de la inundación puede ser obtenida con una resta entre las cotas de mayor y menor altura. Una función muy simple con la cual podemos obtener la altura aproximada de inundación, en caso de que esta llegara a captar suficiente agua para inundarse por completo.

$$h_{max} - h_{min} = h_{al}$$

Para la cual:

- h_{max} , es la altura máxima de la sección
- h_{min} , es el punto más bajo de la cuneta
- h_{al} , es la altura aproximada de la inundación, en caso de ser completa.

En Global Mapper aislamos del perfil (figura 4.5), la sección de nuestro interés. Sobre el mismo perfil se pueden visualizar las diferentes cotas, las cuales se obtienen arrastrando el cursor por la línea dibujada sobre la ortofoto.

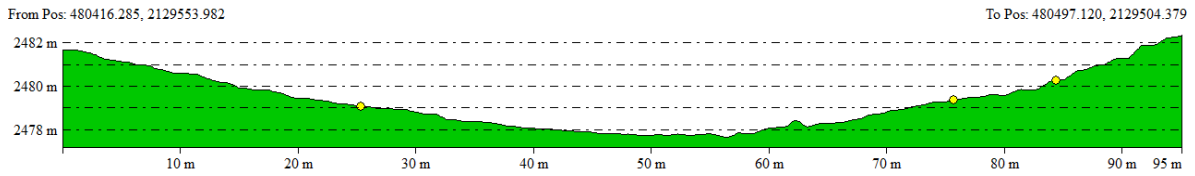


Figura 4. 6 Sección del perfil de la calle Cerro de las Batallas, comprendida por las calles Cerro San Nicolás y Cerro San Pedro

Fuente: Obtención Propia

Los valores que obtenemos son, 2479.06 para h_{max} y 2477.603 para h_{max} dando una h_{ai} (altura aproximada de inundación) de 1.457 m para esa sección.

La visita a la zona puede ser sustituida, con una visita virtual al sitio aprovechando las vistas de calle del modo "StreetView" de Google Earth. Con la ayuda de este software podremos observar si en la sección existe infraestructura hidráulica que ayude a mitigar la problemática del AHI. Para el tramo correspondiente al recorte anterior, posterior a una inundación ocurrida, la delegación implemento medidas de mitigación las cuales se pueden ver en la Figura 4.7 no siendo suficiente. Los vecinos aun reportan encharcamientos considerables pero de menor impacto.



Figura 4. 7 Medidas de mitigación para el tramo seleccionado de la calle Cerro de las Batallas

Fuente: Street View Google Earth.

Resultados

El desarrollo de los primeros dos capítulos presenta la información necesaria para la selección de las herramientas que permiten el diseño metodológico a comparar. De tal forma que abanico de datos digitales da la oportunidad actualmente de escoger de acuerdo al presupuesto que se pueda destinar para la realización de los estudios dirigidos al análisis de las inundaciones o encharcamientos de zonas afectadas por fenómenos hidrometeorológicos.

Los sistemas de información geográficos y la aplicación de técnicas de percepción remota actualmente ofrecen una gran variedad de herramientas, que hacen a sus usuarios pensar en el desarrollo de metodologías que conjunten diferentes áreas del conocimiento, de tal forma que se evidencia la importancia y la relación directa que tiene la infraestructura hidráulica con la planeación y desarrollo de zonas urbanas, como lo indican los registros expuestos de inundaciones frecuentes en diferentes zonas reguladas.

Los productos obtenidos en el post proceso de los insumos, enriquecen cualquier base de datos por el valor de la información contenida en ellos. Representan una visión de las posibles afectaciones viales por acumulación de flujos, permitiendo a los cuerpos de gobierno correspondientes actuar en pro de la prevención de estos encharcamientos o inundaciones, que afectan no solo las vialidades, también a los habitantes. Así mismo esta metodología se puede aplicar para sectores de viviendas legalmente establecidos, donde haya reportes de encharcamientos, encontrando las acumulaciones de los flujos existentes, para realizar obras hidráulicas, evitando futuras complicaciones viales, afecciones a la economía local o a la propiedad privada.

La salida de información se puede representar en mapas temáticos, facilitando a los lectores o el personal del sector privado o de gobierno, no familiarizados con la Ingeniería Geomática, la interacción con los resultados que puede agilizar la toma de decisiones sobre medidas de mitigación ante esta problemática estudiada.

En el capítulo 3, se tratan las posibles diferencias que existen entre los Asentamientos Humanos Irregulares y las zonas reguladas por el Programa de Desarrollo Urbano. Estrictamente hablando en términos de gobierno, las zonas dentro de la zona urbana, tienen su propia clasificación de suelo (habitacional, comercial, etc.) y tienen derecho a todos los servicios urbanos (luz, agua, seguridad pública, etc.), a diferencia de los Asentamientos Humanos Irregulares que están limitados, salvo el derecho al agua que es subsidiada por la delegación. A pesar de las diferencias en el acceso a los servicios básicos, comparten una carencia en su planeación, sosteniendo esta breve conclusión con base en los resultados obtenidos a través de la metodología usada, no existe una diferencia como tal frente a la problemática estudiada como lo es el proceso de encharcamiento e inundación, las condiciones topográficas de los diferentes puntos en la ciudad y en particular para nuestra zona de estudio, podrían situarse en cualquiera de las calles analizadas dentro del casco urbano o en un Asentamiento Humano Irregular.

Se reitera entonces que los procesos de inundación o encharcamientos no son propios de los Asentamientos Humanos Irregulares, como se ejemplifica en el estudio, la escorrentía de las zonas elevadas buscan su propio cauce aunque se encuentre transformado por las construcciones, viaja a través de las calles que necesitan entonces obras de ingeniería para poder soportar el flujo. Depende

entonces de la orografía, ocupación y transformación de los ecosistemas, laderas y de la deforestación que se realiza para transformar el paisaje rural en urbano sin una debida planeación.

La metodología evidencia que cualquiera de los métodos empleados, permite visualizar las zonas de encharcamiento (en este caso) y la necesidad de generar obras de infraestructura apropiadas con su debido mantenimiento para que presten el servicio para el que fueron hechas.

El estudio realizado sobre zonas que vienen de un proceso de autoconstrucción pero que están en el proceso de regulación, para finalmente convertirse en una de las tantas colonias que componen la CDMX, permite el análisis desde su propia formación irregular, lo que evidencia la total falta de planeación responsable. Lamentablemente ésta es la forma de expansión urbana que viven las zonas metropolitanas y en menor medida las ciudades medias. Por lo tanto es un fenómeno que va a seguir presentándose e incrementándose, esto en la medida que las zonas se redensifiquen de construcciones y el sistema de drenaje o las escorrentías (de no existir el drenaje) colapse ante las precipitaciones típicas.

Conclusión

Los encharcamientos e inundaciones son un problema frecuente, que se presentan en las vialidades de las diferentes zonas de la Ciudad de México. Anualmente se vaticinan afectaciones por acumulación de precipitación en casi todas las delegaciones de la ciudad, durante la temporada de lluvias. Las afectaciones se pueden ver modificadas por diversos factores climáticos y sus efectos posteriores, pudiendo ser favorables o desfavorables. Los fenómenos de El Niño y La Niña, el calentamiento global, eventos esporádicos como lluvias convectivas y la temporada de ciclones.

La temporada de ciclones trae consigo diversas afectaciones que dependen de las condiciones de la formación de ciclón y la intensidad con que estos toquen tierra en territorio Mexicano, y afectan de manera directa las lluvias que tendrán lugar en el Distrito Federal. Pero la lluvia no es la única amenaza a la que están expuestas las vialidades o las colonias de la ciudad, también las condiciones geográficas juegan un factor importante, desde la posición espacial de la zona afectada, hasta el relieve que definirá la traza final de sus calles, estos factores pueden actuar a favor o en contra de algunos de los habitantes de las diferentes zonas.

Como se menciona en el capítulo tres, las ciudades son fenómenos sociales multifactoriales, donde su crecimiento está dictado por el comportamiento económico del país, afectando principalmente al Distrito Federal (ahora Ciudad de México), por la centralización existente. El crecimiento del Distrito Federal, en específico de algunas zonas de la Delegación Tlalpan, se han dado por este aumento poblacional derivado de la migración interna de los estados circundantes al Distrito Federal y de las mismas delegaciones que la conforman. La mayoría de las personas que cambian de residencia lo hacen por las condiciones económicas adversas a las que se enfrentan, pensando en generar un patrimonio propio (Gráfica 3.1) que los exente del pago de rentas, incluso si esto les genera un aumento en el tiempo de traslado de su hogar a su centro de trabajo.

Pero este crecimiento no es un crecimiento supervisado y a la larga provoca problemas para los residentes y para los habitantes de las zonas bajas de la ciudad.

Capítulo 1.

Las ingenierías ponen a disposición de la humanidad, las técnicas necesarias para realizar lo que las ciencias escriben en papel. La colaboración mutua entre ciencias e ingenierías acarrea con ellas el desarrollo de técnicas, instrumental y procesos. Los nuevos descubrimientos de la ciencia afectan directamente a las ingenierías, se mejoran los procesos, se optimiza la obtención de datos y se adoptan nuevas tecnologías.

La Ingeniería Geomática, es un conglomerado de ciencias y técnicas, con un catálogo que va desde la simple agrimensura, pasando por el uso de lenguajes de programación hasta la incorporación de nuevas tecnologías en sensores remotos y aeronaves no tripuladas, convirtiéndola en una Ingeniería versátil, capaz de participar en proyectos multidisciplinarios complejos.

En la actualidad la participación de los profesionales de esta ingeniería puede verse reflejada en proyectos de monitoreo y prevención de desastres en diferentes estados de la república, en zonas urbanas o rurales. Involucrándose con otras disciplinas aplicando de manera correcta las técnicas necesarias para poder llevar a cabo la recopilación de datos, los procesos y dictámenes necesarios,

para evitar tragedias derivadas de asentamientos humanos irregulares en zonas de alto riesgo, que pueden provocar daños a las estructuras y pérdida de vidas.

En el marco de esta Tesis y como se mencionó en el primer párrafo, se hace gala de la versatilidad de la Ingeniería Geomática, al unir los conocimientos científicos de una ingeniería, secciones de la Geografía Humana como la Geografía Social, Climatología y carreras técnicas como lo son el Técnico Básico en Gestión Integral de Riesgos (TBGIR) y Técnico Básico en Evaluación Estructural (TBEE), impartidas por la Escuela Nacional de Protección Civil (ENAPROC) adscrita al Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Trabajando en conjunto para comprender las situaciones de las emergencias a nivel nacional o local, aportando un sentido más humano y directo con las personas, haciendo tangible lo imperativo de realizar una correcta evaluación de daños y análisis de necesidades de la población a pequeñas y grandes escalas.

Capítulo 2 Contextual

La amenaza que aqueja de manera directa a los asentamientos, es la lluvia. Año con año se generan los encharcamientos o inundaciones que afectan de manera regular localidades, de las que se tiene conocimiento o de aquellas que por su situación emergente aparecen en noticiarios o páginas de periódicos. Su estudio no debería de estar sujeto a una agravante en su situación durante la temporada de lluvias.

La importancia de contar con una red de estaciones pluviométricas más completa, radica en la interinidad discrepante de la temporada de lluvias en el Distrito Federal, la cual se ve directamente afectada en su duración por la temporada de ciclones y fenómenos climatológicos como El Niño y La Niña. La carencia de bases de datos completas o la carencia relacionada con la existencia de estaciones pluviométricas a nivel localidad, no permiten obtener mediciones del todo fiables. Aunque existen ecuaciones propuestas, como la de Gumbel o regresiones lineales, como es el caso de la ecuación de Aparicio, para subsanar la carencia de datos, esta misma carencia es una limitante, crenado una distancia entre le realidad y una realidad aparente de verdades relativas, en los datos obtenidos.

Capítulo 4 Conclusión de la Metodología

Los distintos métodos usados en esta tesis, se muestran útiles en cuanto a la obtención de resultados inherente de cada una de ellas. Como suele suceder entre metodologías distintas, estas presentan sus puntos a favor y en contra. Por lo que al momento de hacer un estudio, se deben hacer las consideraciones pertinentes para hacer una elección oportuna.

En estos tiempos donde existe una empatía mayor hacia los medios digitales, los métodos probados como la topografía, se han ido dejando de lado o sustituyendo con sensores, perdiendo de vista que son procesos conjuntos. Para este tesis se ocuparon dos métodos, inicialmente el topográfico se usó para el análisis de las calles de Las Torres y Pirindos, obteniendo el perfil de estas, esperando encontrar la sección cóncava de cada una de las calles mencionadas, pues es en ellas, donde la acumulación de agua por efecto de hidrometeoros se lleva a cabo.

En un principio se consideró como una opción viable para obtener los perfiles de manera exacta, pero el problema no se limita solo a la forma de la calle, es el conjunto de diversos factores, donde

las calles adyacentes juegan un papel importante, pues pueden aportar líquido a las calles afectadas o ayudar al desahogo de las mismas, en función de su localización y pendiente.

El análisis de los AHI no podía limitarse solo a la calle en cuestión, pero el método topográfico es un tanto restrictivo en el tiempo, es más específico hacia la obtención de solo lo que se levante los días de trabajo, limitante en la visión del panorama completo si no se hace reconocimiento previo del área y por las zonas, la seguridad del personal y equipo se ponen en riesgo. La metodología digital elimina dichos riesgos y nos da un panorama más extenso de la zona, esta se puede recorrer con una vista aérea o aprovechando las tecnologías como Google Earth y el Street View de la misma empresa, y se generan los modelos digitales de terreno con los sistemas LiDAR y Drones, aislando el sector en función de la microcuenca que representa, de ésta forma con la ayuda de los programas podemos encontrar calles adyacentes que estén aportando agua hacia las afectadas, entonces se proponen medidas de mitigación u obras hidráulicas para la captación de esa agua y su posterior viaje al alcantarillado de la ciudad.

Esta metodología no se limita solo a los AHI, se puede utilizar para zonas urbanas establecidas dentro del marco limitante de la urbe, con miras a iniciar obras que mitiguen las afectaciones, que año con año cuestan dinero a la ciudad y a los habitantes que quedan varados o atrapados en encharcamientos o inundaciones. Es una metodología que aporta las herramientas necesarias de análisis, para cualquier zona que presente problemas de inundaciones o encharcamiento en cualquier ciudad.

Las afectaciones en algunas zonas no se limitan únicamente al entorpecimiento del tráfico, ni a los daños causados a los automotores. En este marco de afectación económica el CENPARED en su serie “Atlas Nacional de Riesgo” propone un índice de vulnerabilidad, dividiendo a las viviendas en cinco categorías en función de sus materiales, tipos de construcción y un porcentaje de afectación dependiente del tirante máximo que se haya generado durante el evento. Estas tablas de afectación (Figura 5.1) son una manera de conocer el menaje que podría sostener daños por agua, cambiando de manera drástica y aumentando el monto total por daños entre cada tipo de vivienda. Para una mayor comprensión se recomienda la lectura de La Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos en su versión 2004 perteneciente a la serie de Atlas Nacional de Riesgos en donde se explica más a fondo la función de vulnerabilidad aplicada y los valores aproximados ejemplificados tras un evento de inundación.

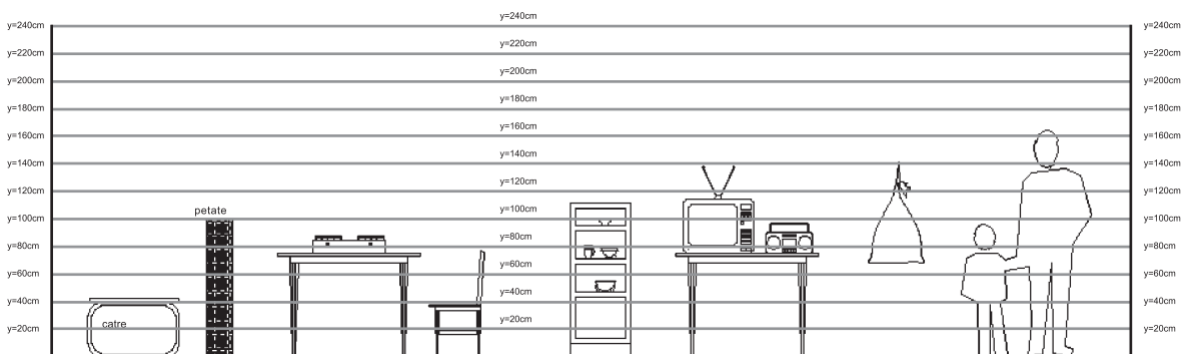


Figura 5. 1 Menaje para vivienda tipo 1, acotada cada 20 cm.

Fuente: Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos 2004

Bibliografía

- - What is topography? (n.d.). Recuperado Abril 9, 2014, de <http://www.michigan.gov/cgi/0,1607,7-158-14767-31893--F,00.html>
- About « Landsat Science. (n.d.). Recuperado Mayo 20, 2014, de http://landsat.gsfc.nasa.gov/?page_id=2
- Bonan, G. B. (2002). *Ecological Climatology: Concepts and Applications*. Cambridge University Press. Recuperado de <http://books.google.com/books?id=QZYCLMFckgC&pgis=1>
- Campos, A. (1998). *Procesos del Ciclo Hidrológico*. (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Ed.) (3rd ed.). San Luis Potosí.
- Chuvieco, S. (2008). *Teledetección ambiental*. Editorial Ariel. Recuperado de <http://books.google.com/books?id=aKsNXCVctcQC&pgis=1>
- Claudia Bolaños. (2011). El Universal DF - "Hilary" genera inundaciones en Tlalpan. *El Universal*, p. 1. Recuperado de <http://www.eluniversaldf.mx/home/nota34783.html>
- Cloud Structures - "Tropical Cyclone" - Description. (n.d.). Recuperado Septiembre 10, 2014, de <http://www.brockmann-consult.de/CloudStructures/tropical-cyclone-description.htm>
- Cruz, L., & Galván Andres. (2016). Descripción de los fenómenos hidrometeorológicos. Recuperado de http://www.cenapred.unam.mx/es/documentosWeb/Enaproc/fenomenos_2016.pdf
- El Niño and La Niña. (1985). *Journal of the Atmospheric Sciences*, 42(23), 2652–2662. Recuperado de [http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0469\(1985\)042%3C2652:ENALN%3E2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0469(1985)042%3C2652:ENALN%3E2.0.CO;2)
- eoPortal - Earth Observation Portal. (n.d.). Recuperado Mayo 27, 2014, de <https://directory.eoportal.org/web/eoportal>
- Galindo, F. L. (2013). Hidrocalidadigital - Evacuan 50 personas tras ruptura de la presa El Chichimeco. Recuperado Octubre 30, 2015, de <http://www.hidrocalidadigital.com/local/articulo.php?idnota=52719>
- GOLDENBERG, L. J. S. A. S. B. (1997). Atlantic Sea Surface Temperatures and Tropical Cyclone Formation. *Journal of Climate*, 11, 578–590. Recuperado de [http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0442\(1998\)011%3C0578:ASSTAT%3E2.0.CO;2](http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0442(1998)011%3C0578:ASSTAT%3E2.0.CO;2)
- Greenlee, D. D. (1987). Raster and Vector Processing for Scanned Linework. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53, 1383–1387.
- Gutiérrez Chaparro, J J; (2009). PLANEACIÓN URBANA EN MÉXICO: UN ANÁLISIS CRÍTICO SOBRE SU PROCESO DE EVOLUCIÓN. *Urbano*, 12() 52-63. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19811644008>
- Impact of El Niño on precipitation in Mexico. (2003). *Geofísica Internacional*, 42(3), 313–330. Recuperado de <http://naolinco.geofisica.unam.mx/divulgacion/geofinternacional/iframes/anteriores/2003/03/magana.pdf>
- Jauregui, E. (2000). *El Clima de la Ciudad de Mexico*.
- Jauregui, E., & Romales, E. (1996a). Urban effects on convective precipitation in Mexico city. *Atmospheric Environment*, 30(20), 3383–3389. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/1352231096000416an>

- effects on convective precipita. *Atmospheric Environment*, 30(20), 3383–3389.
- Jauregui, E., & Romales, E. (1996b). UrbJauregui, E., & Romales, E. (1996). Urban effects on convective precipitation in Mexico city. *Atmospheric Environment*, 30(20), 3383–3389. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/1352231096000416an> effects on convective precipita. *Atmospheric Environment*, 30(20), 3383–3389.
 - Kleiner, K. (2004). What we gave up for colour vision. *New Scientist*, 12. Recuperado de <https://www.newscientist.com/article/mg18124311-900-what-we-gave-up-for-colour-vision/>
 - Macrae, S., & Iannone, G. (2016). Understanding Ancient Maya Agricultural Terrace Systems through Lidar and Hydrological Mapping. *Advances in Archaeological Practice*, 4(3), 371–392. <https://doi.org/10.7183/2326-3768.4.3.371>
 - Peckham, R. J., & Jordan, G. (2007a). *Digital Terrain Modelling: Development and Applications in a Policy Support Environment (Google eBook)*. Springer. Recuperado de <http://books.google.com/books?id=B2NztqZSVD8C&pgis=1>
 - Peckham, R. J., & Jordan, G. (2007b). *Digital Terrain Modelling: Development and Applications in a Policy Support Environment (Google eBook)*. Springer.
 - Roberto Pizarro Ing Juan Pablo Flores V Ing Claudia Sangüesa P Ing Enzo Martínez A, I. T. (n.d.). MÓDULO 2 CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA.
 - Rohli, L. S. U. B. R. R. V, Rohli, R. V., & Vega, A. J. (2013a). *Climatology*. Jones & Bartlett Publishers. Recuperado de <http://books.google.com/books?id=AxWEAgAAQBAJ&pgis=1>
 - Salas Salinas, M. A., & Jimenez Espinosa, M. (2014a). *Inundaciones*. Recuperado de <http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/3.pdf>
 - Salas Salinas, M. A., & Jimenez Espinosa, M. (2014b). *Inundaciones*.
 - Sanchez, L. (2005). Deforestación de bosques agrava inundaciones. Recuperado Abril 14, 2017, de <https://www.uv.mx/boletines/banner/vertical/octubre05/271005/bosques.htm>
 - Tapsell, S. M., Penning-Rowsell, E. C., Tunstall, S. M., & Wilson, T. L. (2002). Vulnerability to flooding: health and social dimensions. *Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*, 360(1796), 1511–25. <https://doi.org/10.1098/rsta.2002.1013>
 - Van Heerwaarden, C. C., De Arellano, J. A.-G., Moene, A. F., & Holtslag, A. A. M. (2009). Interactions between dry-air entrainment, surface evaporation and convective boundary-layer development. *Meteorol. Soc*, 135, 1277–1291. <https://doi.org/10.1002/qj.431>
 - Van Westen, C., Farifteh, J., Maathuis, B., Huurneman, G., Van der Meer, F., & Van Dijk, P. (2013). *Ilwis*. Book On Demand Ltd.
 - Walker, S. M. (1992). *Water up, water down: the hydrologic cycle*. Carolrhoda Books. Recuperado de http://books.google.com/books?id=o2--4_5o-GgC&pgis=1
 - Zhou, Q. (2008). Advances in digital terrain analysis, (February 2016), 476. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-77800-4>
 - Zhou, Q., Lees, B., & Tang, G. (2008). *Advances in Digital Terrain Analysis (Google eBook)*. Springer. Recuperado de <http://books.google.com/books?id=sQCjLystyVYC&pgis=1>

Fuentes Noticiosas

- Agencia Notimex. (2012a). Lluve en zonas de las delegaciones Tlalpan y Xochimilco. *Universal*, p. 1. Recuperado de <http://noticierostelevisa.esmas.com/df/462901/llueve-zonas-delegaciones-tlalpan-y-xochimilco/>

- Aldaz, P. (2012, April 25). El Universal DF - Inauguran planta de bombeo de Muyuguarda. *El Universal*, p. 1. Ciudad de Mexico. Recuperado de <http://www.eluniversaldf.mx/home/nota45096.html>
- Bolaños, C. (2011). Promete GDF abatir inundaciones en Coapa - Terra México. *El Universal*, p. 1. Recuperado de <http://noticias.terra.com.mx/mexico/df/promete-gdf-abatir-inundaciones-en-coapa,6d06083b9ebe6310VgnVCM3000009acceb0aRCRD.html>
- Claudia Bolaños. (2011). El Universal DF - "Hilary" genera inundaciones en Tlalpan. *El Universal*, p. 1. Recuperado de <http://www.eluniversaldf.mx/home/nota34783.html>
- Claudia Bolaños, Rafael Gonzales, H. M. (2003). El Universal - - Causan lluvias inundaciones de nuevo. *El Universal*, p. 1. Recuperado de <http://www.eluniversal.com.mx/ciudad/52617.html>
- Flores, A. C. (2011). La Jornada: Tromba en las delegaciones Tlalpan y Coyoacán; muere una niña. *La Jornada*, p. 1. Recuperado de <http://www.jornada.unam.mx/2011/07/16/capital/030n1cap>
- Guzman, S. (2012). El Universal - - Inundaciones afectan vialidad en Periférico Sur. *El Universal*, p. 1. Recuperado de <http://www.eluniversal.com.mx/ciudad/113105.html>
- NOTIMEX. (2011). Controlan inundaciones en Tlalpan | El Economista. Recuperado de <http://eleconomista.com.mx/distrito-federal/2011/09/23/controlan-inundaciones-tlalpan>
- NOTIMEX. (2011). Genera tormenta inundaciones en Tlalpan - Nota - Seguridad - www.aztecanoticias.com.mx. Recuperado de <http://www.aztecanoticias.com.mx/notas/seguridad/62964/genera-tormenta-inundaciones-en-tlalpan>
- NOTIMEX. (2011). Genera tormenta inundaciones en Tlalpan - Nota - Seguridad - www.aztecanoticias.com.mx. Recuperado September 11, 2013, de <http://www.aztecanoticias.com.mx/notas/seguridad/62964/genera-tormenta-inundaciones-en-tlalpan>
- NOTIMEX. (2011). Rescatan en lanchas a familias afectadas por inundaciones en Tlalpan - Grupo Milenio. *Milenio*, p. 1. Recuperado de <http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/0477e587149919294336278d561feebd>
- NOTIMEX. (2012a). El Universal - - Colapsa barda por lluvias en Tlalpan. Recuperado de <http://www.eluniversal.com.mx/notas/866198.html>
- Palacios, F. R. (2013). El Universal - DF - SSPDF inicia dispositivo por afectaciones de lluvias. Recuperado September 12, 2013, de <http://www.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2013/sspdf-inicia-dispositivo-por-afectaciones-de-lluvias-949291.html>
- ROYS, F. V. (2012). Inundación en el Ajusco, arrastra vehículos y portones | La Primera Plana. *LA PRIMERA PLANA*. Recuperado de <http://laprimeraplana.com.mx/2012/08/24/inundacion-en-el-ajusco-arrastra-vehiculos-y-portones/>
- Sanchez, T. (2013). Lluvia hace estragos en cinco delegaciones, reporta Sacmex | Planeta Tlalpan. Recuperado September 11, 2013, de <http://planetatlalpan.mx/noticias/lluvia-hace-estragos-en-cinco-delegaciones-reporta-sacmex>

Contenido Gráfico

Ecuaciones

Ecuación 1 Ecuación propuesta por Aparicio (1997)	51
Ecuación 2	52
Ecuación 3	52
Ecuación 4	52
Ecuación 5 Ecuación de Gumbel.....	54
Ecuación 6 Media	54
Ecuación 7 Factor de Frecuencia	54
Ecuación 8 Varianza	54
Ecuación 9 Parámetro U	54
Ecuación 10	56

Figuras

Figura 1. 1 . Representación de la formación de un ciclón tropical	7
Figura 1. 2 Influencia de El Niño en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico durante la temporada de ciclones tropicales	8
Figura 1. 3 Temperaturas superficiales en las fechas de Noviembre de los años 1982 y 1983, durante los fenómenos del Niño y La Niña respectivamente.	9
Figura 1. 4 Influencia de La Niña en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico durante la temporada de ciclones tropicales	9
Figura 1. 5 Tropical cyclones and permanent El Niño in the early plioceno Fuente: Tomado del artículo en prensa para la revista Nature. (Fedorov, V., Brierley, C. y Kerry, E. (2010).)	10
Figura 1. 6 Inundación Pluvial	13
Figura 1. 7 Inundación Fluvial en Inglaterra	13
Figura 1. 8 Esquema de las partes de un ojo humano	16
Figura 1. 9 Proceso de teledetección	16
Figura 1. 10 Espectro electromagnético, resalta el espectro visible.....	17
Figura 1. 11 División de las bandas que puede captar Landsat 8.	21
Figura 1. 12 Imagen obtenida por el sensor SPOT, Niágara, Julio 22, 2007	22
Figura 1. 13 Izquierda, muestra la zona de El Márquez previo a las inundaciones	23
Figura 1. 14 Derecha, muestra la misma zona pero ya inundada.	23
Figura 1. 15 Muestra la limitante de los techos de las cavernas b. Tira de Möbius como ejemplo de una superficie con un solo lado.....	24
Figura 1. 16 Teselado de Voroni con Triangulación por criterio de Delauney.	25
Figura 2. 1 Ciclo Hidrológico.....	27
Figura 2. 2 Frecuencia de precipitación máxima en 24 horas mayor a 30 mm por periodos de 10 años para cada barra.	27
Figura 2. 3 Foto de la esquina donde se localiza el punto de inicio C1	39

Figura 2. 4 Vista Front – Right en AutoCAD de los puntos ya triangulados y con las curvas de nivel, curvas maestras en Azul.....	40
Figura 2. 5 Vista Top en AutoCAD de los puntos ya triangulados y con las curvas de nivel, curvas maestras en Azul: La flecha amarilla indica el sentido de la calle Las torres, la flecha naranja muestra el Sentido de la calle Pirindos.....	41
Figura 2. 6 Zoom de la cuneta que se forma en la calle Las Torres	44
Figura 2. 7 Representación de las Secciones 1 a 7, Bajo criterio del Ingeniero, cada sección es una porción del perfil del terreno donde el nivel dictado por C1 (Línea Naranja) nos indica si estas pequeñas secciones quedan por arriba o por debajo del nivel propuest.....	46
Figura 2. 8 Zoom de la cuneta que se forma en la calle Pirindos.....	48
Figura 2. 9 Casa afectada por inundaciones	48
Figura 2. 10 Calle Pirindos, Desnivel.....	49
Figura 2. 11 Pozo de captación, donde se observa la tubería perteneciente a la calle de Yerogios .50	
Figura 2. 12 Mismo pozo de captación, se sigue la dirección del tubo negro y se observa que conecta con el drenaje de la calle Pirindos	50
Figura 2. 13 Vista aérea de las estaciones pluviométricas cercanas a Diamante Tepeximilpa	51
Figura 2. 14 Grafica de las curvas IDF	53
Figura 2. 15 Grafica de las curvas IDF	57
Figura 3. 1 Grafica de Barras representando la procedencia de los dueños o jefes de Familia	60
Figura 3. 2 Grafica de barras representando las razones de adquisición para los predios localizados en Tlalmille	61
Figura 3. 3 Vista aérea del AHI de Tlalmille	64
Figura 3. 4 Acercamiento a la sección de la calle Cerros de las Batallas (en amarillo esta la sección con problemas de encharcamiento, en naranja los accesos posibles hacia este AHI).....	64
Figura 3. 5 Polígono del Cumulo de Puntos perteneciente al AHI de Tlalmille	64
Figura 3. 6 Imagen orto, derivado del modelado en LiDAR	65
Figura 3. 7 Perfil de la Calle de Cerro de las Batallas y acercamiento en la sección delimitada por las calles Cerro San Nicolas y Cerro San Pedro	66
Figura 3. 8 Vista aérea de Calle Tekal	68
Figura 3. 9 Perfil de la Calle Tekal y acercamiento a la zona de interes.....	69
Figura 3. 10 Desnivel de Calle Tekal Figura 3. 11 Desnivel de Calle Tekal.....	69
Figura 3. 12 y Figura 3. 13 Calle de Tekal, se pueden observar los desniveles y las alcantarillas usadas para drenar el agua que corre por esa vialidad, pero no son suficientes	71
Figura 3. 14 Perfil de la Calle 12 de Diciembre	72
Figura 3. 15 y Figura 3. 16 Obra hidráulica reciente en la zona	72
Figura 4. 1 Postproceso de ENVI LiDAR, donde se pueden discernir las manzanas de las vialidades y los patios no techados de las casas	75
Figura 4. 2 Representación gráfica del algoritmo de la herramienta Flow Direction.....	76
Figura 4. 3 Representación gráfica del algoritmo de la herramienta “Flow Accumulation”	76
Figura 4. 4 Overlay de dos diferentes capas. De base, recorte del MDT LiDAR, sobre esta, la capa correspondiente a los flujos obtenidos.	77

Figura 4. 5 Perfil de la calle Cerro de las Batallas, tramo comprendido entre la calle Cerro de Pino y Zacapaxtla	78
Figura 4. 6 Sección del perfil de la calle Cerro de las Batallas, comprendida por las calles Cerro San Nicolás y Cerro San Pedro	79
Figura 4. 7 Medidas de mitigación para el tramo seleccionado de la calle Cerro de las Batallas	79
Figura 5. 1 Menaje para vivienda tipo 1, acotada cada 20 cm.....	84

Mapas

Mapa 1. 1 Clasificación de los Climas para el DF usando la escala de Köppen Modificada	6
Mapa 1. 2 Temperatura de brillo: Delegación Tlalpan	11
Mapa 2. 1 Precipitación media anual para el DF usando la escala de Köppen	28
Mapa 2. 2 Climas Locales de la Delegación Tlalpan usando la escala de Köppen Modificada	31
Mapa 2. 3 Precipitación Media Anual para la Delegación Tlalpan.....	32
Mapa 2. 4 Lluvia Máxima en 24 horas	33
Mapa 2. 5 Localidades propensas a sufrir encharcamientos por efecto de hidrometeoros	35
Mapa 2. 6 Mapa de elevaciones por color	37
Mapa 2. 7 Muestra con líneas de diferentes colores las calles de Las Torres y Pirindos	38
Mapa 3. 1 Flujos de agua en el AHI de Tlalmille	67
Mapa 3. 2 Desniveles de Calle Tekal.....	70

Tablas

Tabla 1 Clasificación de los Climas para el DF usando la escala de Köppen Modificada.....	6
Tabla 2 Diferencias entre el tratamiento visual y digital	20
Tabla 3 Lista de puntos en la delegación Tlalpan que sufren periódicamente de inundaciones por efecto de hidrometeoros	35
Tabla 4 Tabla del Mapa 2.5	36
Tabla 5 Valores de intensidad obtenidos para los diferentes periodos de retorno y duración de precipitación.	53
Tabla 6 Valores máximos para los 41 años de registro de la Estación Pluviométrica “Desviación Alta el Pedregal”	55
Tabla 7 Valores obtenidos de la función de Gumbel para las Precipitaciones Diarias Máximas Probables	56
Tabla 8 Valores de intensidad obtenidos para los diferentes periodos de retorno y duración de precipitación.	57
Tabla 9 Valores máximos para los 22 años de registro de la estación pluviométrica “Ajusco”	58
Tabla 10 Valores obtenidos de la función de Gumbel para las Precipitaciones Diarias Máximas Probables	58